

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
Přírodovědecká fakulta
Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie



SLEDOVÁNÍ PROSTOROVÉHO ROZLOŽENÍ TEPLOTY Z DRUŽICOVÝCH DAT

**MONITORING OF SPATIAL DISTRIBUTION OF TEMPERATURE
FROM SATELLITE DATA**

Bakalářská práce

Markéta HORŇÁKOVÁ

srpen 2008

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. J. Kolář CSc.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citovala.

Jsem si vědoma toho, že případné použití výsledků, získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Praze dne 14. 8. 2008

Markéta Horňáková

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé práce Doc. Ing. Janu Kolářovi, CSc. za trpělivost, cennou pomoc a poskytnuté rady. Dále Ing. Markétě Potůčkové Ph.D. za pomoc při hledání vhodných algoritmů a svému spolužákovi Janu Mišurcovi za konzultaci při zpracování družicových dat. V neposlední řadě také své rodině za neustálou podporu.

Sledování prostorového rozložení teploty z družicových dat

Abstrakt

Cílem této práce je sestavení metodického postupu pro získání povrchové teploty pevniny z družicových snímků a jeho praktického použití. Měla by sloužit dalším uživatelům a zájemcům o danou problematiku, kteří chtějí jak teoretické, tak i praktické informace. První část práce obsahuje popis jednotlivých družicových systémů, jejich relevantního přístrojové vybavení a popis datových formátů, které poskytují. Mimo jiné se práce věnuje v teoretické rovině fyzikální podstatě LST (Land Surface Temperature). Hlavní částí je již zmíněný metodický postup, vysvětlující kompletní zpracování od získání dat, jejich zpracování, až po jejich vizualizaci do mapové podoby.

Klíčová slova: družice NOAA, AVHRR, jasová teplota

Monitoring of spatial distribution of temperature from satellite data

Abstract

The goal of this research work is preparing of the methodical procedure for retrieving the land surface temperature from satellite picture and practical use of this process. It should serve to other users and interested persons in this kind of study, which want both theoretical and functional information. First part of this work contains description of several satellite systems, their relevant instrument equipment and characterization of data formats, which are provided. Among others this work is attending to physical substance of LST in theoretical line. The main part is already mentioned methodical procedure consecrating complete processing from retrieving data, their elaboration, till data visualization into the map form.

Keywords: satellite NOAA, AVHRR, brightness temperature

OBSAH

Přehled použitých zkratk.....	6
Seznam obrázků a tabulek	8
1. Úvod	9
2. Současný stav řešené problematiky	11
3. Meteorologické družice.....	13
3.1 METEOSAT druhé generace	15
3.1.1 Popis družice MSG	15
3.1.2 SEVIRI	16
3.2 NOAA	19
3.2.1 Popis družice NOAA	19
3.2.2 AVHRR/3.....	20
3.2.3 Formát dat z AVHRR/3	24
4. Pozemní meteorologická měření.....	27
5. Metodika zpracování	29
5.1 Radiometrické určení teploty	29
5.2 Kalibrace a geometrická transformace	32
6. Stanovení jasové povrchové teploty z dat družice NOAA	36
6.1 Porovnání s pozemním měřením.....	40
7. Diskuze a závěr	45
Seznam zdrojů informací	47
Seznam příloh.....	51

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

AMSU – *Advanced Microwave Sounding Unit*

APT – *Automatic Picture Transmission* = analogový přenos dat AVHRR, v porovnání s H RTP je kvalita přenosu horší, ale jednodušší

AVHRR – *Advanced Very High Resolution Radiometer* = skenující radiometr družic NOAA

CDA – *Command and Data Acquisition* = pozemní stanice pro sběr dat a kontrolu družic, pod správou NOAA

ECT – *External Calibration Target*

FVC – *Fractional Vegetation Cover*

GAC – *Global Area Coverage* = snížené geometrické rozlišení dat (4x4 km)

GERB – *Geostationary Earth Radiation Budget* = radiometr nesený družicemi MSG

GOES – *Geostationary Operational Environmental Satellite*

GPS – *Global Positioning System* = systém družic sloužící k navigaci a orientaci v prostoru

GSW – *Generalized Split Window* = algoritmus používaný pro získání LST z družicových dat

HIRS – *High Resolution Infrared Sounder* = součást komplexu přístrojů TOVS

H RTP – *High Resolution Picture Transmission* = digitální přenos dat AVHRR

HRV – *High Resolution Visible channel* = širokopásmový kanál přístroje SEVIRI

ICT – *Internal Calibration Target*

LAC – *Local Area Coverage* = vybraná část území v plném geometrickém rozlišení (1,1x1,1 km)

LSE – *Land Surface Emissivity* = emisivita zemského povrchu

LST – *Land Surface Temperature* = povrchová teplota pevniny

MetOp – *The Meteorological Operational satellite programme*

MIRP – *Manipulated Information rate Processor*

MODTRAN4 – *Moderate Resolution Transmittance Code*

MSG – *Meteosat Second Generation* = druhá generace družic provozované organizací EUMETCAST

MTG – *Meteosat Third Generation* = družice třetí generace, které by měly v budoucnu nahradit MSG

NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration* = americká vládní agentura spravující družice pod stejným označením

PRTs – *Platinum Resistance Thermometers*

SEVIRI – *Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager* = hlavní zařízení na palubě družice MSG sloužící pro snímání obrazových dat

SST – *Sea Surface Temperature* = povrchová teplota oceánů

SSU – *Stratosphere Sounding Unit* = součást komplexu přístrojů TOVS

TIGR – *TOVS Initial Guess Retrieval*

TIROS – *Television and InfraRed Observation Satellite*

TLE – *Two Line Element*

TOVS – *TIROS-N Operational Vertical Sounder*

SARSAT-COSPAS – *Search and Rescue Satellite – Aided Tracking – Cosmicheskaya Sistemya Poiska Avariynikh Sudov* – v anglickém překladu zkratka COSPAS znamená *Space System for the Search of Vessels in Distress*

VCM – *Vegetation Cover Method*

WMO – *World Meteorological Organization*

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1	Povrchová teplota oceánů	14
Obr. 2	Počet měření povrchové teploty oceánů	14
Obr. 3	Sledování vývoje oblačnosti při hurikánu Katrina.....	14
Tab. 1	Seznam spektrálních kanálů přístroje SEVIRI	17
Obr. 4	Družice Meteosat Second Generation a přístroj SEVIRI	18
Tab. 2	Seznam spektrálních kanálů přístroje AVHRR/3	21
Obr. 5	Družice NOAA	22
Obr. 6	Skenující radiometr AVHRR/3	22
Obr. 7	Přístrojové vybavení družic NOAA	24
Obr. 8	Snímek z družice NOAA-18.....	26
Obr. 9	Meteorologická budka.....	28
Tab. 3	Přehled spektra elektromagnetického záření.....	30
Obr. 10	Přehled spektra elektromagnetického záření.....	30
Obr. 11	Typy transformačních metod	34
Obr. 12	Snímek z družice NOAA-18 ze dne 7. 8. 2008	37
Obr. 13	Kalibrovaný snímek z družice NOAA-18.....	38
Obr. 14	Georeferencovaný snímek družice NOAA-18.....	39
Obr. 15	Výřez České republiky	40
Obr. 16	Teplota vzduchu na území ČR	41
Obr. 17	Jasová teplota pro území ČR ze dne 7. 8. 2008	42
Obr. 18	Rozdíl teploty vzduchu [K] a jasové povrchové teploty [K]	44

KAPITOLA 1

Úvod

V současné době, kdy rozvoj technologií a nových metod je nedílnou součástí všech oborů, není tomu jinak ani v oblasti využití umělých družic Země. Slouží k vědeckým, komunikačním, vojenským, environmentálním ale i meteorologickým účelům. V dnešní době umělé satelity mají rozsáhlé praktické využití v rozličných aplikacích. Mezi konkrétní příklady lze zahrnout sledování míry zalesnění (těžba lesa, poškození škůdci), rozšiřování pouští na zemi, stav vodních zdrojů a podzemní vody, monitoring v období povodní, v oblasti geologie vyhledávání nerostných surovin, mapování rozvoje měst a s ním spojená urbanizace, přenos informací a dat (telefonické hovory, televizní vysílání, mobilní telefony a internet), sledování polohy objektu, GPS (navigační systém zajišťuje 24 družic), ale má využití i jako varovný systém při nečekaných a katastrofických událostí (tornáda, cyklóny atd.). Přičemž se neustále hledají nové možnosti využití, mezi něž můžeme částečně zahrnout i sledování prostorového rozložení teploty zemského povrchu. Současná technologie měření teploty v pozemních stanicích může být v blízké budoucnosti doplněna či kombinována s poznatky a údaji získanými družicovým měřením.

Hlavním cílem této práce je sestavení a použití metodického postupu pro získání povrchové teploty pevniny z družicových dat, který bude obsahovat jednotlivé kroky od podrobného popisu dostupnosti snímků z různých družic, jejich zpracování až po prezentaci výsledků, které budou porovnány s relevantními hodnotami z pozemního měření. Součástí budou samozřejmě kromě popisu praktického postupu, i všeobecné informace o družicích NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) a MSG (*Meteosat Second Generation*). Dále informace o jejich přístrojovém vybavení, které je rozhodující pro určení povrchové teploty, skenující radiometr AVHRR/3 (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) na družici NOAA, skenující radiometr SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager*) na družici MSG. Sledovanou proměnnou je LST (*Land Surface Temperature*) neboli povrchová teplota pevniny, která představuje klíčový parametr ve fyzice zemského povrchu kombinující výsledky energetického toku a všech interakcí mezi povrchem a atmosférou. Data jsou zpracována ve speciálním softwaru vhodném pro družicová data jako je např. PCI Geomatica. Vlivem různých atmosférických efektů, mezi které můžeme zahrnout absorpci, rozptyl infračerveného záření a to v důsledku i nepatrné oblačnosti, dochází ke zkreslení výsledných hodnot. Tyto chyby jsou odstraněny použitím některého z algoritmů pro atmosférickou korekci např. algoritmus GSW (*Generalized Split Window*), který se již dříve osvědčil při určování povrchové teploty oceánů (SST – *Sea Surface Temperature*).

V současnosti se běžný uživatel prakticky každý den setkává s údaji, která vychází především z pozemního měření. Družicové snímky se zaměřují na monitoring tlakových útvarů, sledování oblačnosti, či srážkových situací. Jinak tomu je však u sledování teploty zemského povrchu při využití družicových snímků. Zpravidla se s nimi obvykle není možné setkat, výjimkou jsou odborné internetové servery, které se zabývají zpracováním družicových dat, jako je v České republice například Český hydrometeorologický ústav. Využití zahraničních zdrojů informací je samozřejmostí. Poskytují nejen velké penzum dat, ale i odborných článků a informací nezbytných k porozumění dané problematice. Tato situace byla jedním z motivujících prvků pro vytvoření metodického postupu k získání teploty povrchu při využití družicových dat, aby případní zájemci měli možnost získat potřebné informace jak o datech, jejich zpracování, problematice, se kterou se mohou setkat, ale i rozšíření svých znalostí o družicích a jejich vybavení. Dá se předpokládat, že celá práce bude sloužit spíše oblasti uživatelů, kteří se alespoň částečně orientují v daném tématu a mají k němu jistý vztah. Při praktickém použití metodického plánu by mimo jiné měli být schopni znát a ovládat potřebný software. I když snahou je, aby i laik byl schopen na základě daného postupu získat očekávaný výsledek. Všeobecně se dá říci, že chybí kvalitní a odborné materiály k danému tématu v českém jazyce, proto jedním z dalších účelů této práce bude rozšíření dostupných informací k dané problematice.

KAPITOLA 2

Současný stav řešené problematiky

Využití družicových snímků v oblasti meteorologie nabízí široké uplatnění v oblasti monitoringu tlakových útvarů, vývoje oblačnosti, srážkové činnosti a povrchové teploty moří a oceánů. Další, avšak v praxi ne tolik běžnou možností je zpracování dat k zisku povrchové teploty pevniny. Zvláště v dnešní době začíná být značně vyžadována v agrometeorologických, klimatických a environmentálních studiích a poskytuje tak zajímavou alternativu pro globální a souvislá měření těchto parametrů. Dále umožňuje vytváření nových vědeckých studií, ale i jistou pomoc při praktickém rozhodování souvisejícím jak s klimatem, tak s geografii. Konkrétními příklady může být určení vhodnosti jednotlivých regionů pro zemědělské účely, či monitorování zmírňujícího vlivu vegetace na výsledné hodnoty teploty. Navíc nám metoda zisku povrchové teploty, s využitím družicových přístrojů na oběžné dráze, nabízí významné výhody spočívající v systematickém shodném globálním sběru dat, které jsou hlavně rychle a neustále dostupné v celosvětovém měřítku. Jednou z organizací, které se věnují sběru dat a jejich následné úpravě pro další výzkum či praktické použití, je například německý institut *Remote Sensing Technology Institut* pracující pod správou *German Aerospace Center*. Kromě nových pohledů, které nám použití družicových snímků nabízí, vyvstává i problém spojený s atmosférickými efekty a efektem vyzařování zemského povrchu, které ovlivňují přesnost výsledků.

V současnosti se koncentruje oblast zájmu na sestavení ideálního algoritmu pro opravení všech efektů limitujících přesnost určení LST. Celkem již bylo navrženo několik algoritmů, které porovnává odborný článek *A comparative study of algorithms for estimating land surface temperature of AVHRR data* autorů z Universidad de Granada ve Španělsku. Ve své práci porovnávají algoritmy autorů Becker and Li (1990), Prata and Platt (1991), Price (1984), Ulivieri (1992) a Kerr (1992).

Jiné studie využívají hodnoty LST pro porovnání chodu teploty venkovských a urbanizovaných oblastí. V jakých hodinách se hodnoty shodují, a naopak v jakých se rozcházejí a sledují vlivy, které takovéto situace způsobují. Například se urbanizovaná území ve večerních hodinách pomaleji ochlazují oproti venkovským (méně obydleným a průmyslově vyspělým) oblastem. Právě družicová měření jsou pro tento druh monitoringu vhodnější, jelikož umožňují pohled na území jako na celek a ne jako při pozemních meteorologických měřeních, kdy získané údaje reprezentují pouze teplotu v daném bodě.

S dalším rozvojem bude metoda zisku povrchové teploty pevniny s využitím družicových dat nacházet mnohem větší uplatnění a dostane se do podvědomí i běžných uživatelů a nejen

vědců, jak je tomu převážně v současné době. Oblast využití se kromě meteorologie rozroste i o další obory např. při plánování a výběru oblastí vhodných pro pěstování konkrétních plodin vyžadujících stabilní teplotu, při sledování globálního oteplování země a mnohých dalších oblastech.

Zajímavý pohled na využití LST v kombinaci s pozemním měřením teploty vzduchu poskytuje odborný článek *Satellites act as Thermometers in Space, show Earth has a Fever*, v němž jeden z autorů, vědecký pracovník z Univerzity v Marylandu, Menling Jin komentuje možnosti aplikací globální LST ve studiích klimatických změn. Teplota vzduchu je měřena ve dvou až třech metrech nad zemí ve zhruba tisíci meteorologických stanic spravovaných WMO (*World Meteorological Organization*). Data o teplotě povrchu Země získaná z družicových měření jsou zajímavým a dobrým doplňkem k tradičním metodám měření teploty. Dlouhodobé hodnoty povrchové teploty jsou hlavní součástí při vysvětlení globálních a regionálních změn. Dohromady za použití dalších satelitních měření jako je oblačnost, srážky či SST, mohou pak vědci dále studovat mechanismy odpovědné za oteplování zemského povrchu. Za sledovaný časový úsek byl zpozorován vzrůst teploty vzduchu o 0,34°C za dekádu a podobný trend vykazuje i povrchová teplota Země, jejíž hodnota teploty se za dekádu zvýšila o 0,28°C. Družicová data umožňují vědcům pohled na denní trendy v globálním a regionálním měřítku. Denní změny teploty povrchu blízce souvisí s vegetačním krytem. Vědci samozřejmě počítají i s faktory (oblačnost, vulkanické erupce a další) ovlivňující přesnost hodnot LST a odstraňují jejich vliv.

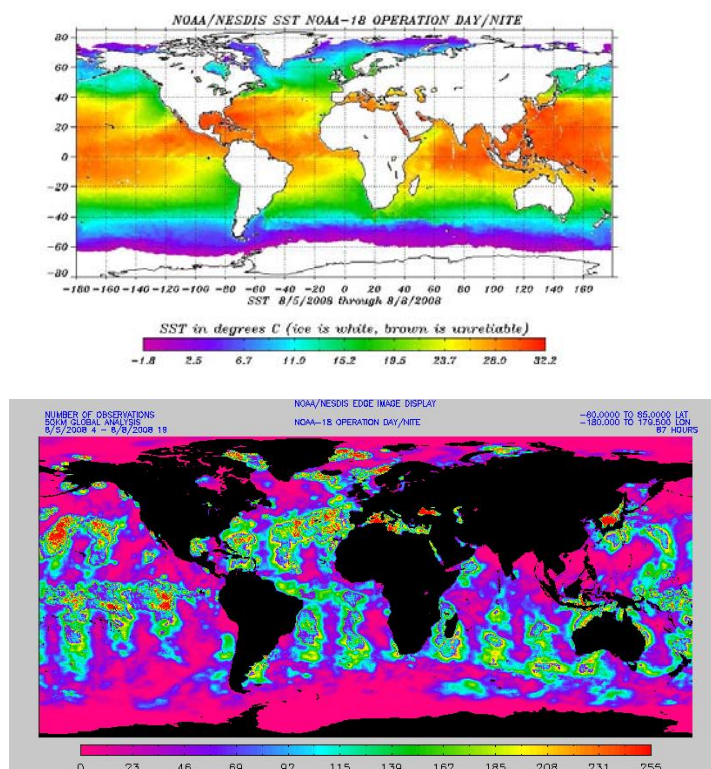
KAPITOLA 3

Meteorologické družice

Jak se dá očekávat, při získávání teploty povrchu jsou předmětem zájmu meteorologické družice. Ty se dále dělí jak podle jejich funkce, tak podle oběžné dráhy, na které se pohybují. Někdo může brát v potaz členění dle organizací, jež družice provozují. Členění meteorologických družic dle jejich funkce na operační, které mají za cíl sběr dat sloužící k předpovědi počasí a hrají nepostradatelnou roli při tvorbě krátkodobých předpovědí počasí, a meteorologické družice experimentální (známé i pod názvem *Research and Development*), mají roli zaměřující se spíše na výzkum, či ověřování teorií, myšlenek a předpokladů. Experimentální družicí byl i TIROS-1 (*Television and InfraRed Observation Satellite*), který byl dne 1. 4. 1960 navíc první meteorologickou družicí vyslanou na oběžnou dráhu. Meteorologické družice se pohybují po geostacionárních drahách nebo po drahách polárních. Charakter oběžné dráhy geostacionárních družic spočívá především v době oběhu, která je shodná s dobou rotace planety Země. Družice jakoby zůstávala stát nad jedním místem zemského povrchu ve výšce zhruba 36 000 km. Do této kategorie patří družice MSG, americké GOES EAST a GOES WEST, japonská GMS, čínské FY-2, ruské GOMS a indické Insat. Oproti tomu výška polární dráhy se pohybuje mezi 810 až 870 km, snímají oblast pólů a doba jejich rotace je přibližně 100 minut. Americké družice NOAA, evropský MetOp, ruské ze série Metor-3 a čínské FY-1 zastupují druhou skupinu, tedy družice na polární dráze. Bližší charakteristika obou zmíněných oběžných drah umělých družic Země je popsána v následujících pasážích. Hlavní organizace, které se věnují provozu jak polárních tak geostacionárních družic, jsou EUMETSAT a NOAA.

Meteorologická měření za pomoci družicových systémů pohybujících se po geosynchronních a kvazipolárních drahách získávají informace a data o atmosféře a zemském povrchu v oboru viditelného, infračerveného a mikrovlnného záření. Funkce meteorologických satelitů zahrnuje mimo jiné i sledování povrchové teploty moří, oceánů a pevniny, vývoj oblačnosti, dále monitoring rozsahu a stavu vegetace a v neposlední řadě detekci rozsáhlých požárů, aktuální stav sněhové pokrývky a ledu. Kromě toho se věnují i zkoumání atmosféry, konkrétním příkladem je detekce znečištění atmosféry aerosoly a prachovými částicemi. Všechny tyto zmíněné parametry jsou sledovány především v dlouhodobém hledisku. Díky informacím z vertikálního profilu a složení atmosféry lze využívat družicová měření při sestavování numerických modelů předpovědi počasí. Význam využití družic roste zvláště v oblastech oceánů a pouští, kde není pozemní bodové měření možné. Všeobecně se dá říci, že nám družicová měření umožňují jiný pohled na meteorologická data. Oproti pozemním bodovým měřením, nebo balónovým sondám, které

nám poskytují data pouze pro jejich blízké okolí, družicová data reprezentují velkoplošné spojitě informace.



Obrázek 1: Povrchová teplota oceánů

Zdroj: <http://www.osdpd.noaa.gov/PSB/EPS/SST/data/global50.ice.gif>

Obrázek 2: Počet měření povrchové teploty oceánů

Zdroj: http://www.osdpd.noaa.gov/PSB/EPS/SST/data/FS_km5000.gif



Obrázek 3: Sledování vývoje oblačnosti při hurikánu Katrina

Zdroj:

http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a003200/a003251/katrina_goesSTILL20050829_0015GMT_web.jpg

3.1. METEOSAT druhé generace

Meteosat Second Generation, známější pod zkratkou MSG, je významný systém následující po předchozí generaci družic Meteosat, patřící pod správu mezivládního sdružení. Družice byly navrženy jako hlavní operační meteorologický satelitní systém pro Evropu. Dne 23. 11. 1977 byla vypuštěna první družice Meteosat 1, která zároveň představovala první evropský geostacionární satelit. MSG se skládá z celkem čtyř geostacionárních družic MSG 1 až MSG 4 (přičemž někdy se používá také označení MSG 1 = Meteosat 8). Jedná se o systém dvou operujících satelitů, přičemž jeden z nich slouží jako operativní a druhý jako záložní. Družice jsou limitovány dobou provozuschopnosti, která je zhruba 7 let. Do budoucna (cca rok 2020) se plánuje nahrazení stávajících družic MSG družicemi MTG- *Meteosat Third Generation*. Meteosat druhé generace má oproti předchozí verzi rozdílný počet spektrálních kanálů přístroje SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager), zvýšenou frekvenci snímání, která se z původních 30 minut snížila na současných 15 minut, a lepší rozlišovací schopnost radiometru, jež byla u předchozí verze 3 km pro kanál HRV (*High Resolution Visible channel*) a dnes jsou data zaznamenávána s rozlišením 1 km jak u kanálu HRV a u zbývajících jedenácti spektrálních kanálů 3 km.

Meteosat druhé generace byl navržen na základě několika podnětů. MSG je důležitý jako zdroj vstupních dat pro numerické předpovědní modely. Mimo jiné musí být družice schopna zajistit důležitá data pro monitorování a výzkum klimatu. Informace získané ze zpracovaných SEVIRI dat jsou dále přeměněny na specifické produkty, které jsou využívány meteorology a klimatology. Příkladem zmíněných produktů mohou být analýzy oblačnosti, povrchová teplota oceánů, předpovědi srážek atd. Hlavním posláním je poskytování operačních obrazových dat. Družice MSG na své palubě nese transponder *Search and Rescue*, který pomáhá přenášet nouzový signál z lodí a letadel v případě ohrožení.

3.1.1. Popis družice MSG

Družice pohybující se po geosynchronní dráze, odvozené na základě Keplerových rovnic, ve výšce zhruba 35 790 km mají dobu oběhu kolem Země stejnou s dobou rotace Země kolem své osy, což umožňuje snímat stále stejnou část zemského povrchu. U geostacionární dráhy se družice jeví, jakoby visely nad pevným bodem na zemském povrchu. Její poloha odpovídá oblasti nad průsečíkem rovníku a nultého poledníku. Nevýhodou geostacionárních družic je značné zkreslení v oblastech pólů, které nedokáže při pozorování kvalitně obsáhnout. Družice jsou na oběžné dráze stabilizovány pomocí rotace, jejíž rychlost je 100 otáček za minutu. Aby zůstala tato dráha dodržena a nedocházelo k jejímu vychýlení, jsou prováděny pravidelné korekce, což s sebou ale nese nároky na spotřebu paliva, které je při korekci spotřebováno. Vzniká zde jednoduchá rovnice úbytek paliva = snižování životnosti družice.

Proto se pro budoucí generaci družic MTG počítá s využitím stabilizace pomocí gyroskopů, jak je tomu například u družic NOAA.

3.1.2. SEVIRI

SEVIRI jinak také *Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager* lze charakterizovat jako hlavní zařízení na palubě družice MSG. Přístroj SEVIRI snímá zemský povrch s 15ti minutovým opakujícím se cyklem. Za tento časový úsek dojde celkem k 1 250 otáčkám a vznikne tak jeden snímek. Oproti předchozímu radiometru se tato doba o polovinu zmenšila, a umožňuje tak častější generaci dat a zvýšení jejich přesnosti při předpovědi bouřek, silných dešťů či sněhu. Rozsah spektrálního pásma, ve kterém se měří pomocí konkrétních přístrojů elektromagnetické záření, je označován jako spektrální kanál. Současná verze přístroje má 12 spektrálních kanálů (11 úzkopásmových a 1 širokopásmový kanál HRV). Tyto spektrální kanály se dají rozdělit do dvou hlavních skupin na solární a tepelné. Solární kanály VIS 0.6, VIS 0.8, NIR 1.6 a HRV reprezentují odražené sluneční záření a zachycují zemský povrch či vodní hladinu a oblačnost. Tepelné kanály WV 6.2, WV 7.3, IR 8.7, IR 9.7, IR 10.8, IR 12.0 a IR 13.4 se soustřeďují na část elektromagnetického spektra, kde má hlavní roli tepelné vyzařování, a které nám poskytují informace o radiální teplotě. Ze zmíněných tepelných kanálů lze vyčlenit ještě podskupiny dle jejich absorpce. V některých kanálech totiž dochází k molekulární absorpci, neboli pohlcení či zeslabení elektromagnetického záření a mění jeho intenzitu. Příčinou, která vede k absorpci je přeskakování elektronů, rotace a vibrace. Následující skupiny jsou vždy charakterizovány prvkem, který je dominujícím absorbentem, čili látkou, která objemově pohlcuje jiné látky a tím ovlivňuje výsledek. Mezi dominující absorbenty u tepelných kanálů patří vodní pára a oxid uhličitý. Rozdělení je potom následovné: kanály absorpce vodní páry, kanály absorpce ozónu, kanály absorpce oxidu uhličitého a kanály, na kterých nedochází k atmosférické absorpci. Dnes tyto kanály poskytují mnohem přesnější a zlepšenou kvalitu dat z celé atmosféry pro vytváření podmínek numerických modelů předpovědi počasí. Horizontální obrazové rozlišení je pro jedenáct kanálů elektromagnetického spektra 1 km. Výjimkou je kanál HRV, kde je horizontální rozlišení 1 km (u předcházející verze bylo toto rozlišení 3 km). Všechny tyto parametry napomáhají ke kvalitnější předpovědi počasí, či odvození počátků a ukončení značného množství klimatických událostí.

Na palubě družice je také instalován přístroj GERB (*Geostationary Earth Radiation Budget*), který poskytuje hodnotná data odraženého slunečního záření a tepelného záření vydaného Zemí a atmosférou. Radiometr monitoruje celkové záření Země na horní hranici atmosféry, umožňující výpočty krátkovlnného a dlouhovlnného záření. Všechny tyto parametry jsou rozhodující pro porozumění rovnováhy klimatu na Zemi.

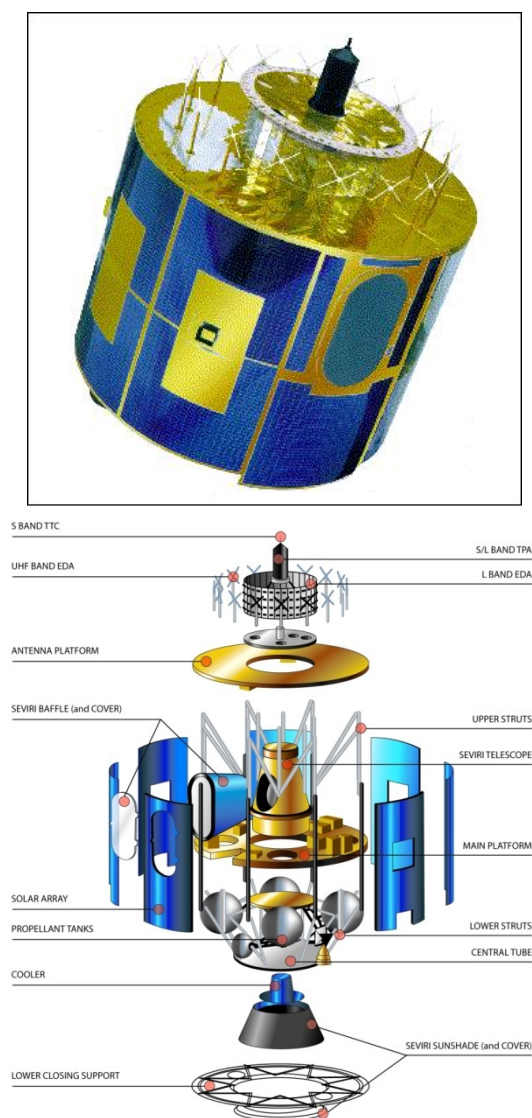
Data získaná družicemi MSG jsou poskytována ve formátech Level 1.0 a Level 1.5. Surová data ve formátu Level 1.0 jsou nejprve kontrolována dle časového přehledu, doplněna a za některých okolností korigována. V této podobě jsou přijímána na primární pozemní stanici v Usingenu. Hlavním cílem je z formátu Level 1.0 vytvořit formát Level 1.5, který poskytne radiometricky korigovaná a geometricky opravená data na standardní geostacionární projekci centrovanou na polohu 0° , což má za úkol řídicí středisko v Darmstadu. Běžný uživatel, který má licenční smlouvu s poskytovatelem dat (EUMETCast), získá data zprostředkovaně přes komerční družice, kterou je pro oblast Evropy HotBird 6.

Kanál	Označení	Spektrum [μm]	Absorpční pásmo
1.	VIS 0.6	0,56 – 0,71	viditelné a blízké infračervené
2.	VIS 0.8	0,74 – 0,88	viditelné a blízké infračervené
3.	NIR 1.6	1,50 – 1,78	blízké infračervené
4.	IR 3.9	3,48 – 4,36	krátkovlnné infračervené
5.	WV 6.2	5,35 – 7,15	vodní páry
6.	WV 7.3	6,85 – 7,85	vodní páry
7.	IR 8.7	8,30 – 9,10	infračervené pásmo
8.	IR 9.7	9,38 – 9,94	ozon
9.	IR 10.8	9,80 – 11,80	dlouhovlnné infračervené
10.	IR 12.0	11,00 – 13,00	dlouhovlnné infračervené
11.	IR 13.4	12,40 – 14,40	oxid uhličitý
12.	HRV	0,60 – 0,90	viditelné

Tabulka 1: Seznam spektrálních kanálů přístroje SEVIRI

Funkční systémové vlastnosti přístroje SEVIRI

- váha – 260 kg
- rozměry – výška 2,4 m a průměr 1 m
- skenovací zrcadlo – pod úhlem 45° , vychylující o $\pm 5^\circ$
- pasivní chladič – snižující teplotu detektorů na 95 K, solárních detektorů 20°



Obrázek 4: Družice Meteosat Second Generation (nalevo) a přístroj SEVIRI (napravo)

Zdroj: <http://www.stud.uni-hannover.de/user/53623/>

3.2. NOAA

Zkratka NOAA představuje název americké vědecké vládní agentury *National Oceanic and Atmospheric Administration* (Národní úřad pro oceán a atmosféru), jež spravuje shodně označené družice.

Mezi funkcemi družice NOAA 17 je kromě zdokonalení předpovědi počasí i sledování přírodních událostí na Zemi. AMSU (*Advanced Microwave Sounding Unit*) je jednotka obsahující dva dodatečné kanály, které mají za cíl zajistit zdokonalené sledování teploty a vodní páry v celé troposféře a stratosféře, i přes značnou oblačnost. Skenující radiometr AVHRR obsahuje nový šestý kanál snímající viditelnou část spektra, jenž je využíván díky své schopnosti rozlišení mezi oblaky a sněhem/ledem na zemi.

Družice NOAA 18 je zatím poslední družicí, která byla v této sérii vyslána na oběžnou dráhu, aby získávala informace nejen o zemské atmosféře, ale také o životním prostředí, jež mají pomoci vylepšit předpověď počasí a výzkum klimatu. Družice pomáhají také při detekci a monitoringu nečekaných a katastrofálních situací. Získané informace slouží nejen k časnému varování, ale hlavně k zmírnění následků těchto katastrof. Součástí paluby družice, stejně tomu je i u NOAA 17, je také přístroj programu pro hledání a záchranu lidí. Systém COPAS-SARSAT, přenáší nouzový signál z lodí, letadel či od jednotlivců a pomáhá při jejich lokaci a záchraně.

Družice nám poskytují velice důležitá data. Z nich můžeme získat informace o povrchové teplotě oceánů, povrchové teplotě pevniny, oblačnosti, celkové vlhkosti atmosféry, množství dopadajícího záření, vegetační index atd.

3.2.1. Popis družice NOAA

Jedná se o družice pohybující se na kvazipolární dráze, která je téměř kolmá na zemský rovník a během obletu Země se dostávají skoro nad póly. Rovina dráhy je po celý rok orientována vůči Slunci stejně, jedná se tedy o dráhu heliosynchronní. V praxi to znamená, že družice přelétá nad daným místem vždy ve stejném místním slunečním čase a postavení družice – Země- Slunce se nemění. Družice TIROS-N, první z řady družic dnes označovaných jako NOAA, byly navrženy pro provoz v oblasti pólů. Jejich dráha je slunečně synchronní a kruhová s výškou mezi 830 km až 870 km. Tyto parametry oběžné dráhy mají jisté výhody a to, že nedochází k takovému zkreslení v oblasti pólů, zajišťuje větší rozlišovací schopnost (to však neplatí pro malá nehomogenní území jakým je např. Česká republika), dále umožňuje jednotný sběr dat družicemi a kontrolu družic ze stanice NOAA CDA (*Command and Data Acquisition*). Sklon dráhy vůči rovině zemského rovníku je 98 až 99°, doba oběhu družic se pohybuje kolem 102 minut (z čehož vyplývá 14,1 oběhů za den). Družice nepřetržitě snímají pás území široký

3 000 km (1 500 km na obě strany od poddružicového bodu). Poddružicový bod je definován jako průsečík spojnice družice a středu Země se zemským povrchem. Průmět dráhy družice na zemský povrch je dán posloupností poddružicových bodů vytvořené vlastním pohybem satelitu. V prostoru jsou orientovány pomocí gyroskopů, jejichž největší výhodou je možnost umístění většího počtu přístrojů na družici. Gyroskop obsahuje celkem čtyři rychle se otáčející setrvačníky, které díky své rotaci udržují neustále stejnou polohu. Avšak v průběhu času je oběžná dráha satelitů vychýlena oproti původnímu směru.

Dva satelity na polární dráze mají za cíl doplnění geostacionárních družic. Jednotlivé nástroje nesené družicemi na polární dráze jsou schopny měřit mnoho parametrů zemské atmosféry, povrchu země, oblačnost, přichází solární protony, kladné ionty, hodnotu elektromagnetického toku a energetické spektrum ve výšce satelitu. Mezi další úkoly jejich mise je schopnost přijímat, zpracovávat a přenášet data z vysílače *Search and Rescue Beacon* (družice totiž na své palubě nese převaděče záchranného systému SARSAT-COSPAS, umožňující lokalizaci nouzového signálu vyslaného letadly, loděmi či jinými dopravními prostředky), dále také automatický sběr dat na jednotky na zemi, na oceánské bóje nebo na paluby volně se pohybujících balónů. Umožňují monitorování celé Země, atmosférických změn a poskytují atmosférická data a snímky oblačnosti. Kromě toho sledují i klimatické podmínky, které mohou případně ovlivnit počasí na celé zeměkouli. Získaná radiometrická data z viditelné a infračervené části elektromagnetického spektra jsou použita pro zobrazovací účely, teplotní profily a radiační měření. Významné jsou také hodnoty ozónu v atmosféře, či detekce ozónových děr nad Antarktidou. V současné době představují NOAA 17 a NOAA 18 primární družice, které jsou neustále v provozu. Jako jejich záloha slouží družice starší, které zůstávají na oběžné dráze. Družice NOAA 17 byla vypuštěna na oběžnou dráhu 24. 6. 2002 a NOAA 18 vystartovala 20. 5. 2005. Obě tyto družice zhotovila firma Lockheed Martin Missiles and Space co.

3.2.2. AVHRR/3

AVHRR, neboli *Advanced Very High Resolution Radiometer*, je hlavní součástí přístrojového vybavení družic NOAA. Detekuje energii ve viditelné a infračervené části elektromagnetického spektra. Jedná se o měření odražené sluneční energie a tepelné energie vyzařené zemským povrchem, oceány a atmosférou. První verzi AVHRR byl pouze čtyř-kanálový radiometr. Tento počet byl následně navýšen o jeden kanál, takže radiometr nesený družicí NOAA 7 měřil v pěti spektrálních pásmech. Současná a také nejnovější verze AVHRR/3 byla poprvé použita pro satelit NOAA 15.

Kanál	Spektrum [μm]	Absorpční pásmo	Plné rozlišení [km]	GAC – snížené rozlišení [km]	Typické použití
1.	0,58 – 0,68	červená oblast spektra	1,1	4,4	denní mapování oblačnosti a povrchu
2.	0,725 – 1,00	blízké infračervené záření	1,1	4,4	hranice pozemní vody
3A.	1,58 – 1,64	infračervené záření	1,1	4,4	mapování sněhu a ledu
3B.	3,55 – 3,93	infračervené záření, resp. tepelné záření	1,1	4,4	noční mapování oblačnosti a povrchové teploty oceánů
4.	10,3 – 11,3	tepelné záření	1,1	4,4	noční mapování oblačnosti a povrchové teploty oceánů
5.	11,5 – 12,5	tepelné záření	1,1	4,4	povrchová teplota oceánů

Tabulka 2: Seznam spektrálních kanálů přístroje AVHRR/3

Přístroj AVHRR/3 patří do skupiny skenujících radiometrů a snímá zemský povrch v šesti spektrálních pásmech v rozmezí vlnových délek 0,58 až 12,5 μm. Z nich tři představují oblast viditelného až blízkého infračerveného spektra a další tři kanály jsou tepelné. I přestože je AVHRR/3 šesti-kanálový radiometr, družice je schopna kvůli své kapacitě přenášet pouze pět kanálů současně. Kanály 3A a 3B nelze zachytit ve stejnou dobu. Je zde jisté pravidlo o střídání těchto dvou kanálů a to podle schématu - kanál 3A je přenášen ve dne a kanál 3B je zaznamenáván v noci. Data získaná z každého z pěti kanálů jsou digitalizována v radiometru na 10 bitovou informaci a dále jsou vedena z přístroje jako 10 bitový paralelní digitální výstup do kosmické lodi MIRP. U automatického přenosu obrazu mohou být dva ze šesti kanálů příkazem vybrány ke zpracování. Takováto data prošla procesem: 1, rozlišení bylo sníženo použitím každého třetího skenovaného řádku AVHRR dat; 2, byla provedena geometrická korekce ke snížení perspektivního vlivu vzhledem k zakřivení země a nadmořské výšce satelitu. Data získaná družicemi NOAA mohou být v různých kvalitách rozlišení. Kromě standardního plného rozlišení, jsou data poskytována i ve sníženém rozlišení a to ve formátu GAC (*Global Area Coverage*). Dále jsou k dispozici data, která reprezentují určitou část území v plném rozlišení, tedy ve formátu LAC (*Local Area Coverage*). Přenos všech těchto formátů probíhá buď digitální (HRPT), nebo analogovou (APT) formou. V tabulce č. 2 jsou uvedeny spektrální rozsahy jednotlivých kanálů a rozsahy rozlišení.

Funkční systémové vlastnosti přístroje AVHRR/3

Skenující radiometr je tvořen kombinací zrcadlového dalekohledu a rotujícího plochého zrcadla umístěného pod úhlem 45° před vstupem do dalekohledu.



Obrázek 5: Družice NOAA

Zdroj: http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/MediaResources/NOAA-M/noaa_lo.jpg

Obrázek 6: Skenující radiometr AVHRR/3

Zdroj: <http://goespoes.gsfc.nasa.gov/poes/instruments/images/avhhr.jpg>

- objektiv – typ Cassegrain s průměrem 20,32 cm
- váha – 33,1 kg
- rozměry – 9,55 x 4,37 x 3,51m
- teplotní rozsah přístroje (operační) – 10 až 30°C
- výkon (orbitální průměr) – 27W
- počet telemetrických kanálů (analogových) – 22
- počet telemetrických kanálů (digitálních) – 15
- množství příkazů – 30

Dalším významným zařízením na palubě družic NOAA je komplex přístrojů TOVS poskytující informace o vertikálním profilu atmosféry, stanovení teplotního profilu, koncentrace oxidu uhličitého, ozónu a vodní páry. Různé parametry složek atmosféry v závislosti na teplotě a tlaku umožňují použití přístrojů TOVS. V porovnání s přístrojem AVHRR/3 je objem dat ze zařízení TOVS znatelně menší a rozlišovací schopnost je také nižší. Komplex přístrojů TOVS je tvořen těmito systémy:

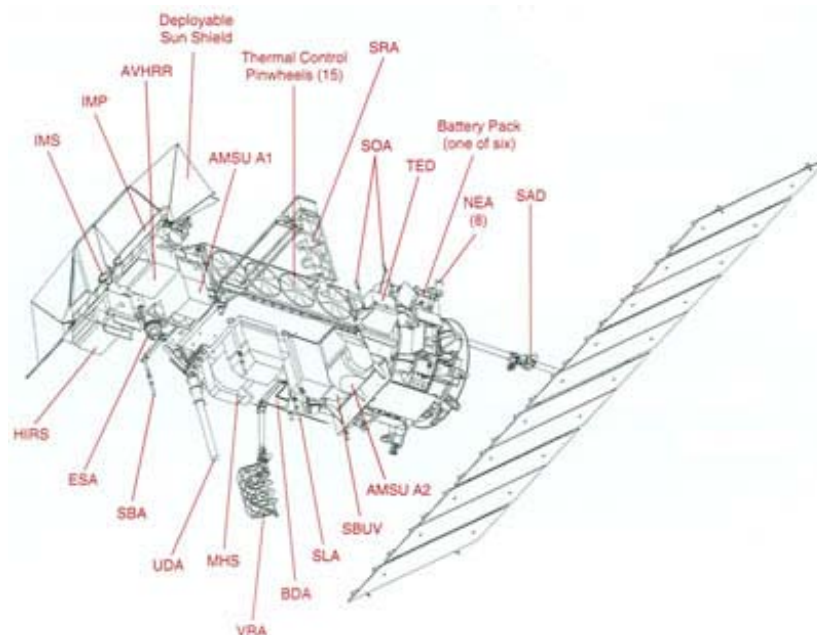
- HIRS/3 – *High Resolution Infrared Sounder* sloužící k monitoringu troposféry v infračervené části spektra na vlnových délkách 3,7 až 15,0 μm . Obsahuje 1 viditelný kanál s vlnovou délkou 0,69 μm , 7 krátkovlnných kanálů o vlnové délce mezi 3,7 až 4,6 μm a 12 dlouhovlnných kanálů s rozpětím 6,5 až 15 μm . Multispektrální data z těchto kanálů jsou získány z jednoho teleskopu a rotujícího filtračního kola obsahujícího 20 individuálních filtrů. Rozlišení v poddružicovém bodě je 20 x 40 km.
- AMSU A, AMSU B – *Advanced Microwave Sounding Unit* využívaná při sondáži troposféry v mikrovlnném oboru s frekvencí 20 – 90 GHz (15 kanálů) a 90 – 190 GHz (5 kanálů).

Přístroj AMSU-A představuje multi-kanálový mikrovlnný radiometr (15 kanálů) a je tvořen dvěma oddělenými moduly AMSU-A1 a AMSU-A2. Jeho využití souvisí s měřením globálních atmosférických teplotních profilů a poskytováním informací o vodě obsažené v atmosféře ve všech jejích podobách (mimo drobných ledových částic, které jsou na mikrovlnné frekvenci transparentní).

Pod zkratkou AMSU-B je skryt 5kanálový mikrovlnný radiometr, jehož účel spočívá v přijímání a měření radiace z různých vrstev atmosféry. Data z těchto měření poskytují informace o profilech vlhkosti. AMSU-A a AMSU-B pracují ve spojení a společně tak vytváří 20ti kanálový radiometr.

- SSU – *Stratosphere Sounding Unit* sleduje stratosféru s největším vertikálním rozlišením, ale v meteorologii se příliš nevyužívá. Jedná se o 3kanálový infračervený radiometr navržený k měření záření vydaného stratosférickým oxidem uhličitým.

Na základě různých rozlišovacích schopností jednotlivých podsystémů, je nezbytné všechny údaje přepočítat do jednotného systému.



Obrázek 7: Přístrojové vybavení družice NOAA

Zdroj: http://goespoes.gsfc.nasa.gov/poes/instruments/images/NOAANDiagram_small.jpg

3.2.3. Formát dat z AVHRR/3

Data získaná družicemi NOAA jsou díky navržení skenovacího systému přímo přenášena na zemský povrch a to nepřetržitě v reálném čase, je-li v dohledu pozemní přijímací stanice. Tento typ přenosu dat je ukryt pod zkratkou HRPT (*High Resolution Picture Transmission*). Kromě zmíněného způsobu HRPT, je zde také možnost výběrového záznamu dat na každý ze dvou zapisovacích přístrojů. Takto uložené údaje jsou později odeslány na příkaz řídicího střediska na zem ke zpracování. Tento typ dat je označován jako formát LAC (*Local Area Coverage*). Dalším formátem je GAC (*Global Area Coverage*), kde jsou data zpracována v plném rozlišení na palubě satelitu a jsou zaznamenány pouze pro výstup ve stanicích CDA. Data jsou zaznamenávána a vysílána rychlostí 6 obrazových řádek za sekundu, přičemž každý jednotlivý řádek obsahuje 2 048 pixelů. Každý obrazový bod se skládá z dat, jež reprezentují jednotlivé spektrální kanály. Příjem dat ve formátu HRPT vyžaduje naváděnou parabolickou anténu, která neustále sleduje družici během jejího přeletu nad danou lokalitou.

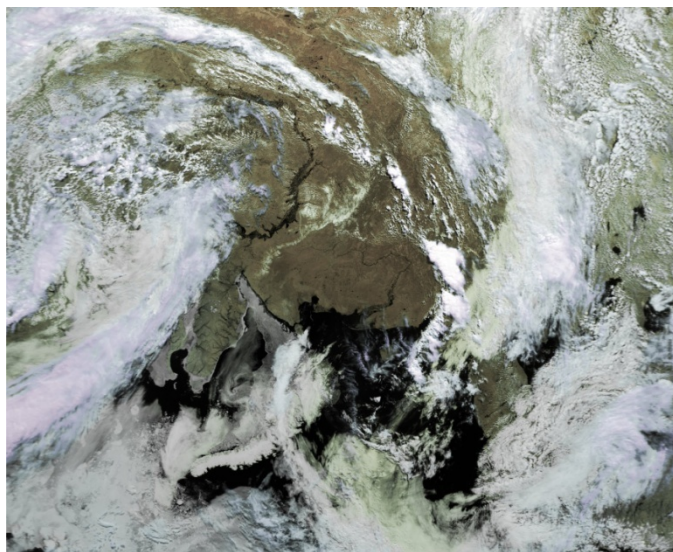
Podstata formátu dat GAC (*Global Area Coverage*) spočívá ve sníženém rozlišení, kdy čtyři z každých pěti vzorků v obrazové (skenované) řádce jsou použity pro výpočet jedné průměrné hodnoty a dále jsou zpracovány pouze hodnoty z každé třetí obrazové (skenované) řádky. Prostorové rozlišení je u tohoto formátu 4x4km. Úplná kopie datového souboru, 16ti bitový normální formát a selektivní výběr podskupin jsou typy nahraných formátů.

- Úplná kopie datového souboru – obsahuje všechny kanály a liší se oproti formátu Selektivní výběr podskupin, kde se pracuje pouze s některými kanály. Každý logický záznam obsahuje 3 220 bitů zapsaných v binárním formátu.
- 16ti bitový normální formát
- Selektivní výběr podskupin – jedná se o datové soubory vytvořené použitím výběru jednotlivých kanálů nebo výběrem 8 bitového formátu.

HRPT formát je reprezentován daty, která jsou digitalizována s 10 bitovou přesností a přenášena v reálném čase na přijímací stanici, pro kterou je družice v danou chvíli v jejím zorném poli. Mohou být také selektivně zaznamenávána na palubě družice pro následné přehrání v podobě LAC dat. V praxi to znamená, že přijímací stanice mohou získat data i z oblastí, které snímají družice již mimo zorné pole stanice. Maximálně deset minut LAC dat může být zaznamenáno za oběžnou dráhu. Stejně jako u GAC dat jsou různé druhy nahranych formátů: Úplná kopie datového souboru, Selektivní výběr podskupin, 16bitový normální formát dostupný pro všechny kanály.

- Úplná kopie datového souboru – každý soubor dat HRPT obsahuje data z jednoho kontaktu CDA a každý soubor dat LAC obsahuje individuální satelitní záznam pro přehrání. Jednotlivé údaje jsou v každém datovém souboru chronologicky seřazeny. Záznamy jsou zapsány v binárním formátu.
- 16ti bitový normální formát
- Selektivní výběr podskupin – tento formát je vytvářen použitím určitých kanálů, nebo výběrem 8 bitového formátu.

Dostupnost dat z družice MSG internetovou cestou je díky komplikovanému přihlášení do systému EUMETCast složitější, než je tomu u družic NOAA. Vhodnější variantou získání dat z MSG je přímý přístup ke stanici, zaznamenávající údaje z toho satelitu (např. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie Přírodovědecké fakulty UK v Praze). Stanice pro příjem družicových dat na Katedře aplikované geoinformatiky a kartografie zaznamenává data ze systému EUMETCast na základě licenčního ujednání. Jelikož mají nahraná data velký objem, jsou uchována pouze několik dní a pokud nejsou zálohována, dojde k jejich přehrání novými daty. Ukázkou zpracování dat z družice NOAA je na obr. 8 snímek reprezentující dané území v nepravých barvách (*false colour*), jež byl zpracován v programu Davida Taylora, AVHRR Manager a ReadHRPT (*HRPT reader application*).



Obrázek 8: Snímek z družice NOAA-18 zaznamenaný na přístroji pro příjem družicových dat na Katedře aplikované geoinformatiky a kartografie představuje území v nepravých barvách.

Tyto dvě aplikace *AVHRR Manager* a *HRPT reader application* jsou dostupné zdarma, ale pouze po dobu 30 dní, poté je pro další využívání toho programu bezpodmínečné zakoupení plné verze a to buď jednotlivých aplikací, nebo celé sady HRPT Toolset suite, která obsahuje i další nadstavbové aplikace např. Kepler Manager, WX Track, Ground Map a další (<http://www.david-taylor.pwp.blueyonder.co.uk/software/AVHRRmanager.htm>). Data z družice NOAA jsou posílána po jednotlivých územních pásech a jsou pospojována právě pomocí programu *AVHRR Manager*. Aplikace HRPT reader umožňuje dané snímky vizualizovat pomocí různých algoritmů, různé barevné kombinace a jsou zde i předdefinované možnosti pro zobrazení vegetace, SST, oblasti výskytu požárů (*fire*), jasová teplota, různé algoritmy pro sledování oblačnosti atd. Ukázky některých z těchto vizualizací jsou v příloze 4.

Na webových stránkách Satelitního a informačního servisu NOAA si může každý uživatel vybrat konkrétní produkt, ke kterému chce získat bližší informace. Data jsou poskytována ve třech různých formátech (GAC, LAC a HRPT), jež jsou popsány výše. Na interaktivní mapě celé zeměkoule si uživatel vyznačí oblast, pro niž požaduje snímky. Kromě toho je nutné nastavit sledovaný časový úsek, formát dat a satelit. Kritéria lze specifikovat i podle lokalizace přijímací stanice. Než se snímky objednájí, je vhodné se seznámit s jejich popisem v části *View Details*, kde se nachází podrobné časové a polohopisné informace a ukázky snímku ve zmenšené obrazové podobě. Konkrétní podrobný postup je znázorněn v příloze 2. Vybraná data jsou zaslána zdarma elektronickou formou na emailovou adresu, která je nedílnou součástí registrace. Možnost stažení snímků je omezena časovým limitem. Jiná forma doručení než elektronická je již zpoplatněna.

KAPITOLA 4

Pozemní meteorologická měření

Pozemní meteorologické stanice soustavně měří a sledují vývoj počasí a všechny meteorologické prvky s ním související. Přestavují tak nepostradatelnou součást pozorovacího systému, který je používán při získu dat v celosvětovém měřítku. Mezi zaznamenávané parametry lze zahrnout teplotu vzduchu, vlhkost vzduchu, směr a rychlost větru včetně maximálních nárazů, atmosférický tlak, sluneční svit, teplotu půdy, srážky atd. Meteorologické stanice se dají rozdělit do několika skupin a to dle charakteru získávání dat (pozemní, aerologické, radiolokační), nebo dle jejich odborného zaměření (synoptické, klimatologické, letecké, speciální atd.), mohou být stanice profesionální a dobrovolnické, či podle jejich obsluhy na automatické a s lidskou obsluhou. V České republice je celkem 34 profesionálních meteorologických stanic.

Synoptické stanice jsou určeny k tomu, aby poskytovaly data a informace pro potřeby synoptické meteorologie, jejímž hlavním posláním je detekce a prognóza počasí, množství a druh oblačnosti a tlakové tendence. Měření na těchto stanicích probíhá v hlavním (0, 6, 12 a 18 UTC) a vedlejším (3, 9, 15 a 21 UTC) časovém intervalu. Naměřené hodnoty, které představují směr a rychlost větru, atmosférický tlak, teplota a vlhkost vzduchu, přízemní teplota atd., jsou dále distribuovány ve formátu SYNOP.

Pro klimatologické účely pochází data z klimatologických stanic, které se v České republice člení ještě na stanice základní (zahrnují všechna měření), srážkoměrné (sledují pouze v 7 SEČ množství spadlých srážek, sněhovou pokrývku a atmosférické jevy a získané údaje jsou připisovány předchozímu dni), doplňkové a speciální. Časové termíny pro sběr dat jsou v 7, 14 a 21 hodin. Získaná data jsou předávána jako zprávy INTER. Zaměřují se na záznam teploty, vlhkosti, přízemní teploty, teploty půdy v různých hloubkách, směr a rychlost větru, denní teplotní maxima a minima, či sluneční svit.

Při pozemním bodovém měření je jedním z nejpodstatnějších parametrů teplota vzduchu, která je meteorologickým prvkem charakterizujícím fyzikální stav atmosféry v daném místě a čase. Vzduch se vyznačuje jistou teplotou, která popisuje kinetický stav molekul a atomů. Teplota vzduchu je proměnlivá v místě a čase. Čím více tepelné energie přijímá, tím více teplota vzduchu roste. Hlavní zdroj této tepelné energie ohřívající vzduch pochází ze zemského povrchu vlivem jeho dlouhovlnného vyzařování. Teplota vzduchu je měřena ve výšce dvou metrů v meteorologických budkách s čidly, jejíž dvířka jsou orientována k severu. Stěny budky jsou tvořeny z dvojitých žaluzií a její dno z drátěného síta. Aby nedocházelo k ovlivnění teploty rušivými účinky přímého slunečního záření, jsou meteorologické budky zastíněny nebo jinak chráněny. K měření se využívají různé druhy teploměrů, kde nejčastější jsou zejména

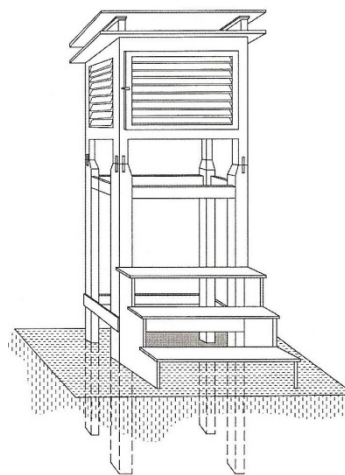
teploměry kapalinové, bimetalické a elektrické. Staniční teploměr, který je jedním ze základních přístrojů v meteorologických budkách, zaznamenává hodnoty teploty vzduchu v intervalu 2 až 4 minut. Maximální a minimální teploměry slouží k registraci nejvyšších a nejnižších zpravidla denních hodnot. Výsledné hodnoty jsou uváděny ve stupních Celsia [°C] s přesností na desetiny. V zahraničí a hlavně v soustavě SI jsou naměřené hodnoty teploty vzduchu prezentovány v kelvinech [K]. Převodní vztah mezi těmito dvěma zmíněnými jednotkami je následující:

$$T_c = T_k - 273,15$$

T_c – teplota ve stupních Celsia

T_k – teplota v kelvinech

Číselná hodnota teploty – 273,16°C představuje nejnižší teplotu, které lze teoreticky dosáhnout. Teplota vzduchu a povrchová teplota získaná z družicových dat jsou zcela dva odlišné údaje, přičemž jeden je měřen v jednom bodě na zemském povrchu a oproti tomu družicová měření poskytují data v plošném měřítku.



Obr. 9.1 Standardní meteorologická budka

Obrázek 9: Meteorologická budka – ukázka konstrukce a podzemního profilu

Zdroj: http://www.meteovikyrovice.wbs.cz/POPIS_STANICE.html

KAPITOLA 5

Metodika zpracování

Hlavním cílem této práce, jak již bylo zmíněno výše, je především sestavení metodického postupu získání povrchové teploty pevniny z družicových dat. Metodický postup lze však aplikovat pro získání teploty povrchu jakéhokoliv objektu, nejen pevniny, ale i oceánů (SST), oblačnosti atd.

5.1. Radiometrické určení teploty

Elektromagnetické spektrum zahrnuje elektromagnetické záření všech vlnových délek a podle nich je vyčleňuje do několika základních skupin. Z nabitých částic, které zrychlují a zpomalují svůj pohyb, vzniká zmíněné elektromagnetické záření. Velikost elektromagnetického záření v atmosféře je udávána intenzitou (tok elektromagnetického záření na jednotku plochy) s jednotkou $W \cdot m^{-2}$ a tato intenzita je závislá na vlnové délce (energie spočívá v elektromagnetickém vlnění). Intenzita elektromagnetického záření vysílaná tělesem závisí na teplotě. Intenzita záření se může měřit na různých vlnových délkách a představuje je tak spektrální intenzitu záření. Ta je kvantitativně pro černé těleso popsána Planckovou rovnicí:

$$M_{\lambda} = \frac{c_1}{\lambda^5} \times \frac{1}{e^{c_2/(\lambda T)} - 1}$$

konstanta $c_1 = 3,7413 \cdot 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4 \cdot \text{m}^{-2}$

konstanta $c_2 = 1,4388 \cdot 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$

vlnové délka absolutně černého tělesa λ

teplota $T [\text{K}]$

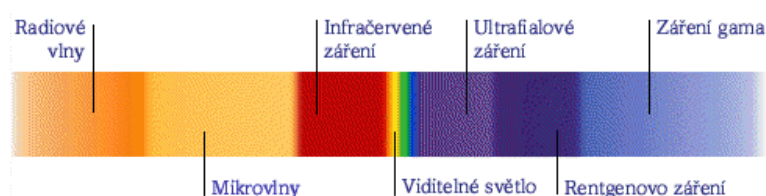
základ přirozených logaritmů e

spektrální intenzita záření absolutně černého tělesa M_{λ}

Podle vlnové délky lze rozdělit elektromagnetické záření na kosmické, roentgenové, ultrafialové, viditelné, infračervené, mikrovlnné a radiové záření a jejich rozsahy jsou uvedeny v tabulce 3 a obr. 13.

Obor spektra	Vlnová délka
kosmické záření	$< 10^{-10} \text{ m}$
roentgenové záření	$10^{-13} - 10^{-8} \text{ m}$
ultrafialové záření	$4 \cdot 10^{-7} - 10^{-8} \text{ m}$
viditelné záření	$4 \cdot 10^{-7} - 7 \cdot 10^{-7} \text{ m}$
infračervené záření	$7 \cdot 10^{-7} - 10^{-3} \text{ m}$
mikrovlnné záření	$10^{-3} - 10^{-1} \text{ m}$
radiové záření	$> 10^{-1} \text{ m}$

Tabulka 3: Přehled spektra elektromagnetického záření



Obrázek 10: Přehled spektra elektromagnetického záření

Každé těleso či látka má svoji vnitřní energii, která odpovídá směsici pohybů částic uvnitř, jež se ve výsledném pohledu jeví jako teplota daného tělesa. Pro černé těleso je typické, že se veškerá vnitřní energie tohoto tělesa přeměňuje na zářivou energii, což v případě reálných těles neplatí. S vyzařováním elektromagnetického záření souvisí dva zákony, *Stefan-Boltzmanův* a *Wienův posunovací zákon*, které budou popsány v následující pasáži. Vztah mezi teplotou tělesa T a intenzitou záření M_ε objasňuje *Stefan-Boltzmanův zákon* charakterizovaný rovnicí, kde intenzita vyzařování roste se čtvrtou mocninou termodynamické teploty zářícího tělesa (Kolář J, Halounová L, Pavelka K, 2000):

$$M_\varepsilon = \sigma \cdot T^4$$

přírodní (Stefan-Boltzmanova) konstanta $\sigma = 5,6693 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

teplota tělesa $T [\text{K}]$

intenzita záření absolutně černého tělesa M_ε

Německý fyzik Wien se zabýval problematikou spektrální hustoty zářivého toku v závislosti na vlnové délce, z čehož vzešel *Wienův posunovací zákon*, který určuje hodnotu vlnové délky λ_{max} , na které je spektrální intenzita maximální. Vlnová délka

elektromagnetického záření vyzařovaného tělesem závisí na teplotě tělesa a s jeho rostoucí teplotou se posouvá maximální hodnota spektrální intenzity vyzařování ke kratším vlnovým délkám. Matematická formulace Wienova posunovacího zákona je dána vztahem:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

vlnová délka, na které je spektrální intenzita maximální λ_{max}

teplota T [K]

konstanta $b = 2898 \mu m K$

Emisivita ε je funkcí dvou proměnných, teploty tělesa a vlnové délky emitovaného záření, a určuje vyzařovací charakteristiku určitého materiálu. Emisivita nabývá hodnot 0 až 1 a mění se s vlnovou délkou. Spektrální emisivita ε_λ je vyjádřena podílem M_λ (intenzita vyzařování tepelného záření reálného tělesa) a $M_{\lambda\varepsilon}$ (intenzita vyzařování tepelného záření černým tělesem). Jelikož u reálných těles není splněn teoretický předpoklad výměny kinetické energie molekul na zářivou, jsou hodnoty M_λ o teplotě T menší než hodnoty $M_{\lambda\varepsilon}$, tedy $M_\lambda < M_{\lambda\varepsilon}$. Pro absolutně černé těleso je hodnota emisivity $\varepsilon = 1$. Pokud je hodnota emisivity $\varepsilon = 0$, jedná se o dokonalý odrazeč.

$$\varepsilon_\lambda = \frac{M_\lambda}{M_{\lambda\varepsilon}}$$

spektrální emisivita ε_λ

spektrální intenzita reálného tělesa M_λ

spektrální intenzita černého tělesa (ideální zářič) $M_{\lambda\varepsilon}$

Většina metod při určování LST předpokládá, že emisivita je známa a má konstantní hodnotu. Ale ve skutečnosti je emisivita pro každý objekt, či látku jiná a musí být určena v době výpočtů LST.

Jednotlivé části zemského povrchu mají relativní vyzařovací schopnost málo odlišnou od hodnoty jedna v porovnání s vyzařováním černého tělesa, z toho důvodu jsou ztotožňovány se zářením absolutně černého tělesa o stejné teplotě, jakou má zemský povrch. Zemský povrch má v oboru dlouhovlnného záření vlastnosti, které dobře odpovídají vlastnostem tzv. šedého tělesa, jehož spektrální vyzařovací funkce E'_λ může být vyjádřena ve tvaru:

$$E'_\lambda = E_\lambda \cdot \delta$$

E'_λ – spektrální vyzařovací funkce šedého tělesa

E_λ – definováno Planckovým zákonem

δ – relativní vyzařovací schopnost

přičemž δ je číslo bez fyzikálního rozměru, tzv. relativní vyzařovací schopnost, která nezávisí na vlnové délce, která má pro většinu zemského povrchu hodnotu v intervalu 0,8 až 1,0. Absolutně černé těleso není reálné, nýbrž fiktivní a jeho charakteristika spočívá v kompletní absorpci dopadající elektromagnetického záření. Tím, že žádné záření není odraženo ani propuštěno, jeví se v odraženém světle jako úplně černé těleso.

V Kirchhoffově zákoně platí rovnost:

$$\alpha = \varepsilon$$

, jelikož musí být veškeré záření pohlcené tělesem opět vyzařeno. Tělesem jsou nejsilněji pohlcovány ty spektrální složky elektromagnetického záření, jež těleso samo nejvíce i vyzařuje. Pokud nastane situace, že těleso žádné záření nepropouští, dojde k tepelné rovnováze a potom je propustnost (τ) rovna 0 a platí vztah:

$$\varepsilon = 1 - \rho$$

odrazivost daného objektu, či látky ρ

emisivita ε

5.2. Kalibrace a geometrická transformace

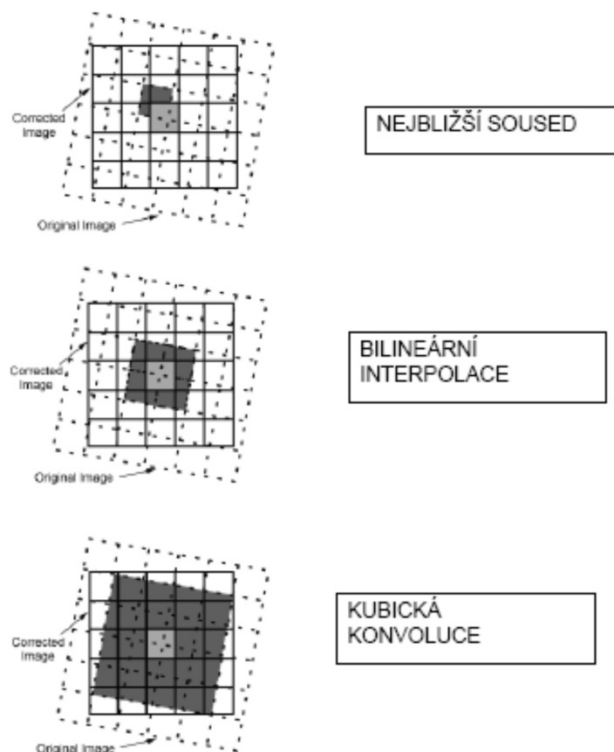
Prvotním krokem je získání družicových dat, které budou dále zpracovány. Různé přístupové cesty k datům jsou popsány v Kapitole 3 v části 3.2.2. Data, se kterými se bude při získávání LST pracovat, musí pocházet pouze z bezoblačných situací. Pokud chceme zpracovávat velké území, musíme počítat s tím, že takovýchto bezoblačných situací pro celou oblast bude jen velice málo.

Pro zpracování získaných snímků mohou být využity různé programy, mezi něž patří i PCI Geomatica. Tento program obsahuje i funkce a algoritmy, které lze přímo aplikovat na data pořízené přístrojem AVHRR. Než dojde k samotné práci s daty, je potřeba je převést do formátu, který je podporován v programu PCI Geomatica a to do formátu PCIDSK. Jako první je použit algoritmus, který vykonává radiometrickou korekci, kalibraci kanálů viditelné části spektra a kalibraci kanálů reprezentující tepelnou část spektra. Při kalibraci družicových dat získaných radiometrem meteorologické družice dochází k převodu těchto dat na fyzikální

veličiny, kterou je i radiační teplota. Algoritmus umožňuje kalibraci kanálů z viditelného a blízkého infračervené části spektra (u přístroje AVHRR kanály 1, 2 a 3A) a kanálů z infračervené části spektra (kanály 3B, 4 a 5). Další popis kalibrace se bude týkat pouze infračervených kanálů, které jsou rozhodující pro tuto práci. Kalibrace je provedena před vypuštěním družice a poté, kdy je již na oběžné dráze. První zmíněná kalibrace před vypuštěním se uskutečňuje ve speciální tepelné vakuové komoře, které napodobuje podmínky panující ve vesmíru. Pracuje se celkem se třemi kalibračními lampami černých těles. Prvním je studená kalibrační lampa (95 K) představující studený vesmír, dále laboratorní černé těleso reprezentující Zemi (ECT – *External Calibration Target*) a jako poslední vnitřní kalibrační lampa skeneru AVHRR (ITC – *Internal Calibration Target*). K měření teploty černých těles se používají platinové rezistenční teploměry (PRTs – *Platinum Resistance Thermometers*). Záření pro každý tepelný kanál je vypočteno z naměřených teplot. Kompletní testovací cyklus kalibrace před vypuštěním na oběžnou dráhu se opakuje každý třetí, čtvrtý a pátý den. Během každého dne je pro celý cyklus stanovena operační teplota přístroje na jinou hodnotu v rozsahu 10, 15, 20 a 25°C.

Při geometrické transformaci dochází k odstranění geometrických zkreslení, tedy prostorové odchylky od daného vzoru obrazových dat. Jedná se o předpis, podle kterého přiřadíme původní hodnotě souřadnice x, y nové souřadnice X, Y na základě vřícovacích bodů, což jsou body, které jsou jednoznačně identifikovatelné na mapě nebo na snímku a mají známé zeměpisné, či mapové souřadnice. Při výběru vřícovacích bodů bychom měli dodržovat jistá pravidla (rovnoměrné rozmístění vřícovacích bodů a jejich dostatečný počet), abychom co nejméně ovlivnili výsledek. S geometrickou transformací je někdy spojena i změna velikosti pixelu tzv. převzorkování. Z následujícího vyplývá, že algoritmus, který bude dále použit, slouží k automatické geometrické korekci. Při typickém použití algoritmu je umožněno uživateli vytvořit si vlastní výstupní soubor, ve kterém si definuje oblast zájmu a požadovanou projekci. Proces geometrické transformace určí hodnotu výstupního pixelu ze vstupního souboru dat. Kvalita geometricky transformovaných obrázků a čas potřebný pro jejich výpočet je závislý na použité metodě. Algoritmus nabízí celkem tři transformační metody: Nejbližší soused, Bilineární interpolace a kubická konvoluce. Metoda nejbližšího souseda počítá s jediným vstupním pixelem, který je nejbližší k transformovanému bodu. Nepřepočítává se hodnota v pixelu, ale přebírá se hodnota z nejbližšího pixelu. Výhodou této metody je relativně nízká výpočetní náročnost, avšak výsledný výstup může být vlivem prostorového přesahu výstupní matice mít nespojitý obraz. U bilineární interpolace je vážený průměr počítán ze čtyř vstupních pixelů kolem transformovaného bodu. Stejně jako u metody nejbližšího souseda, i zde je výhodou nízká výpočetní náročnost a navíc relativně hladké výstupní obrazy. Předposlední zmíněnou transformační metodou je kubická konvoluce, kdy se nezachovávají původní naměřená data a hodnota výstupního pixelu je určena z 16 pixelů, které představují

vstupní matici. Výsledkem je ostřejší výstupní obraz, který však podléhá vysoké výpočetní náročnosti.



Obrázek 11: Typy transformačních metod

Z důvodu značné absorpce IČ záření již při slabé oblačnosti, je pro zjištění hodnoty povrchové teploty bezpodmínečná identifikace oblačných i částečně oblačných pixelů a jejich oddělení čistých – bezoblačných pixelů. Oblačnost totiž může úplně blokovat signál ze zemského povrchu a znemožnit tak zjištění povrchové teploty. Z čehož vyplývá, že zářivá teplota povrchu je vypočtena pouze z čistých bezoblačných pixelů. Mohou však nastat situace, ve kterých bude přesnost povrchové teploty ovlivněna potencionálními problémy tj. bezoblačné oblasti, které jsou pokryty oblačnou maskou v důsledku velmi studených zimních situací; nezjištěná nízká oblačnost v nočních hodinách; okraje oblaků; tenká oblačnost nad tmavým povrchem.

Atmosféra do jisté míry ovlivňuje data získaná pomocí satelitů, proto je nutné takováto data opravit o vlivy atmosféry tzv. atmosférické korekce. Cílem je tedy odstranění radiometrických zkreslení způsobených atmosférickými efekty. Jelikož má atmosféra podobu látkového prostředí, elektromagnetické záření jí procházející je rozptylováno odrazem na částicích atmosféry a pohlcováno. K disperzi elektromagnetického záření v atmosféře dochází jak na molekulách vzduchu (molekulární rozptyl) a také na aerosolových částicích (vodní kapky,

ledové krystaly, či různé druhy prachových částic). Rozptyl elektromagnetického záření je závislý na vlnové délce a velikosti částic. Velikost absorpce je závislá hlavně na vlnové délce záření a na chemickém složení atmosféry. Proces určení povrchové teploty je značně náročnou záležitostí. Je bezpodmínečné vzít v úvahu změny spektrální emisivity pro různé typy povrchů, dále že vysílané záření není ve vesmíru homogenní a také že je povrchová teplota proměnlivá v prostoru a čase.

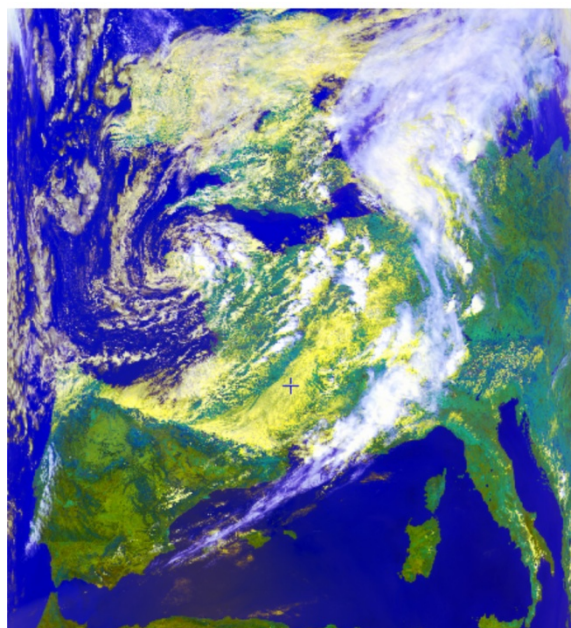
KAPITOLA 6

Stanovení jasové povrchové teploty z dat družice NOAA

LST (*Land surface temperature*), neboli zářivá povrchová teplota je jedním z důležitých procesů ve fyzice zemského povrchu v regionálním i globálním měřítku. Mnohé klimatické, hydrologické, ekologické či biochemické studie vyžadují LST. Jako příklad může být uvedeno použití teploty půdy pro stanovení latentního toku tepla či využití povrchové teploty měřené družicemi pro zdokonalení modelů a metod k vypočtení energetické rovnováhy zemského povrchu. Je neodlučitelnou součástí procesů energetické a vodní výměny mezi zemským povrchem a atmosférou. Rozhodující pro získání povrchové teploty z družicových dat je přesné stanovení vyzařování povrchu, které je pro různé objekty a látky jiné. Některé algoritmy však počítají s tím, že hodnota emisivity je konstantní a nemění se. Takovýto přístup do jisté míry ovlivňuje výsledek a je nutné při hodnocení počítat i s chybami způsobenými použitím konstantní hodnoty emisivity.

Při určení povrchové teploty z družicových dat se vychází z měření v tepelné infračervené části elektromagnetického spektra, což pro MSG/SEVIRI znamená kanály IR 10.8 a IR 12.0 a pro NOAA/AVHRR/3 kanály 4 a 5, jejichž spektrální rozsahy jsou uvedeny v Kapitole 3.

Následující pasáž se podrobně věnuje popisu postupu vytvoření mapových výstupů teploty zemského povrchu (LST) z družicových dat, konkrétně z přístroje AVHRR/3 na družicích NOAA. Data pocházejí ze systému CLASS (*Comprehensive Large Array-data Stewardship System*) a byla zaznamenána družicí NOAA-18 (v příloze jsou uvedeny snímky i z družice NOAA-15, ze dne 7. 8. 2008 po 15 hodině) dne 7. 8. 2008 zhruba mezi 12 a 13 hodinou. Ze stejného dne pochází i teplota vzduchu zaznamenaná na pozemních meteorologických stanicích v České republice. Tyto zjištěné hodnoty teploty vzduchu a jasová teplota ze dne 7. 8. 2008 budu sloužit k porovnání dvou rozdílných metod, ale zároveň i dvou rozlišných parametrů v části 5.1. Nejprve jsou data převedena do formátu PCIDSK v programu PCI Geomatica, jak je možné vidět na obr. 11, kde je snímek z družice NOAA-18 reprezentující převážnou část Evropy. Data je možné zobrazit i v primární poskytované podobě, ale pro další práci jsou převedena do zmíněného formátu PCIDSK, který je schopen podporovat soubory větší než 2 GB. Data poskytovaná systémem CLASS ve formátu Level 1B obsahují mimo jiné kromě obrazových dat i další textové soubory (*AVHRR Ground Control Points-prostorové zařazení dat, AVHRR Calibration/Orbital Values-údaje pro kalibraci a AVHRR Orbit Segment-informace o poloze družice*).



Obrázek 12: Snímek z družice NOAA-18 ze dne 7. 8. 2008

Na následujícím obr. 12 již byla provedena kalibrace za pomoci algoritmu AVHRRAD (*AVHRR Radiometric Correction and Calibration*) jež je součástí knihovny algoritmů v software PCI Geomatica. Během celého roku, ale i v průběhu dne dochází ke změnám výšky Slunce. Radiometrická korekce dat na výšku Slunce slouží k odstranění vlivu různého úhlu dopadu slunečního záření na sledované území. Pokud snímek obsahuje plošně rozsáhlé území, tak i mezi jeho jednotlivými místy mohou být poměrně velké rozdíly v ozáření. Obsahuje radiometrickou korekci dat na výšku Slunce, a je popsána v následujícím vztahu:

$$PixelOut = \frac{PixelIn}{\cos(z)}$$

hodnota pixelu po korekci PixelOut

hodnota pixelu před korekcí PixelIn

úhlová vzdálenost Slunce od zenitu z

Algoritmus AVHRRAD umožňuje kalibraci kanálů viditelné části spektra a tepelných kanálů odděleně. Pro zpracování družicových dat pro získání jasové teploty byla vybrána pouze kalibrace kanálů tepelné části spektra, jež vychází z následujícího vztahu:

```

PO = PlanckEqn(E)

E = S(c) * PI + I(c)

where:
  PI is the input pixel value
  PO is the output (calibrated) pixel value
  E is the radiance of the input pixel
  S(c) is the slope coefficient for channel c
  I(c) is the intercept coefficient for channel c

units:
  PI is a pixel count value (usually 0-1023 for AVHRR)
  PO is surface brightness temperature in degrees K
  E is radiance in milliWatts/(m^2 sterad cm^-1).
  S(c) is radiance/count
  I(c) is radiance

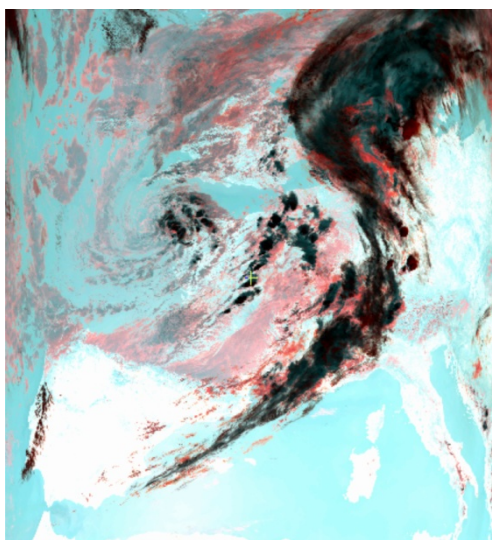
T = C2 * v / ln(1 + C1 * v^3 / E)

where:
  T is the brightness temperature in degrees K.
  C1 is a constant in milliWatts/(m^2 sterad cm^-1)
  C2 is a constant in cm K.
  v is central wave number in cm^-1.
  E is radiance in milliWatts/(m^2 sterad cm^-1).

C1 = 1.1910659e-5 milliWatts/(m^2 sterad cm^-4)
C2 = 1.438833 cm K

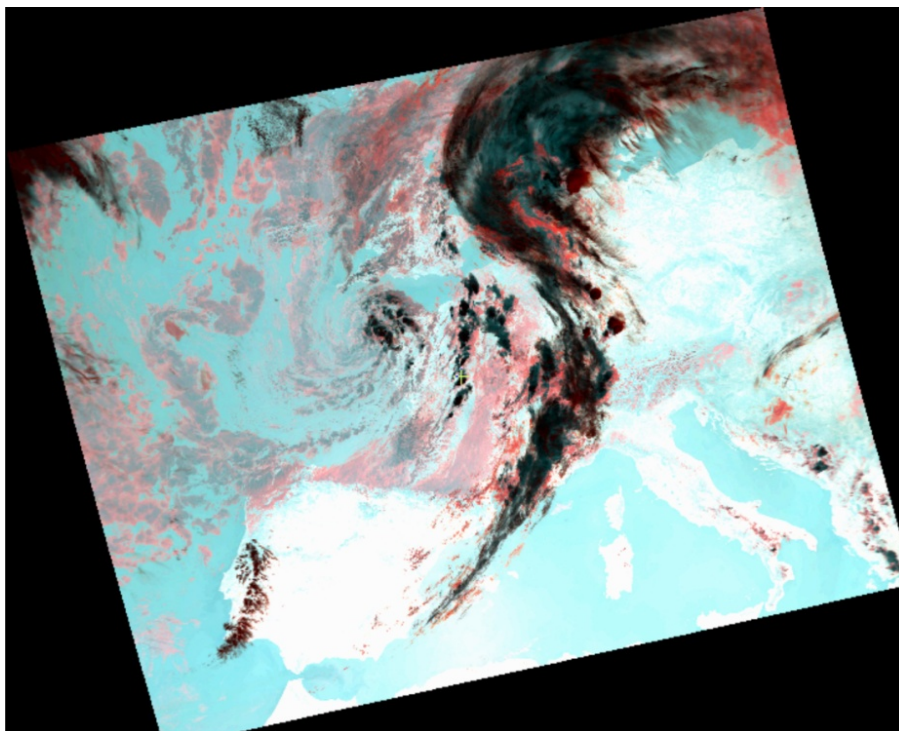
```

Každá hodnota výstupního pixelu je vypočtena na základě matematického popisu, jež je zobrazen výše na levé straně. Hodnoty PlanckEqn jsou získány na základě vzorce, který je výše napravo. Algoritmus AVHRRAD při kalibraci tepelných kanálů vyžaduje informace PRT (celkem 4 průměrné hodnoty, které jsou získány při použití platinových rezistenčních teploměrů na měření teploty ITC (*Internal Calibration Target*). Navíc tyto hodnoty mohou být přímo převedeny na teplotu), BLACKBODY (3 řádky s průměrnými hodnotami získanými při zobrazování ITC) a SPACE (průměrné hodnoty pro 3 řádky jsou získány, když senzor AVHRR zobrazuje vesmír). Pokud nejsou při zpracování nalezeny, nemůže být proces kalibrace dokončen. Velice důležité jsou i hodnoty AVALUES, které se dají vyhledat na internetových stránkách: <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/index.htm>. Jejich hlavním úkolem je převod hodnot PRT na teplotu. Například první řádek AVALUES1 obsahuje 5 koeficientů, které jsou použity pro převod hodnot PRT1 na hodnoty teploty ve stupních Kelvinech [K]. Informace PRT, BLACKBODY a SPACE jsou automaticky generovány do textových segmentů, ale hodnoty AVALUES musí být doplněny každým uživatelem jednotlivě.

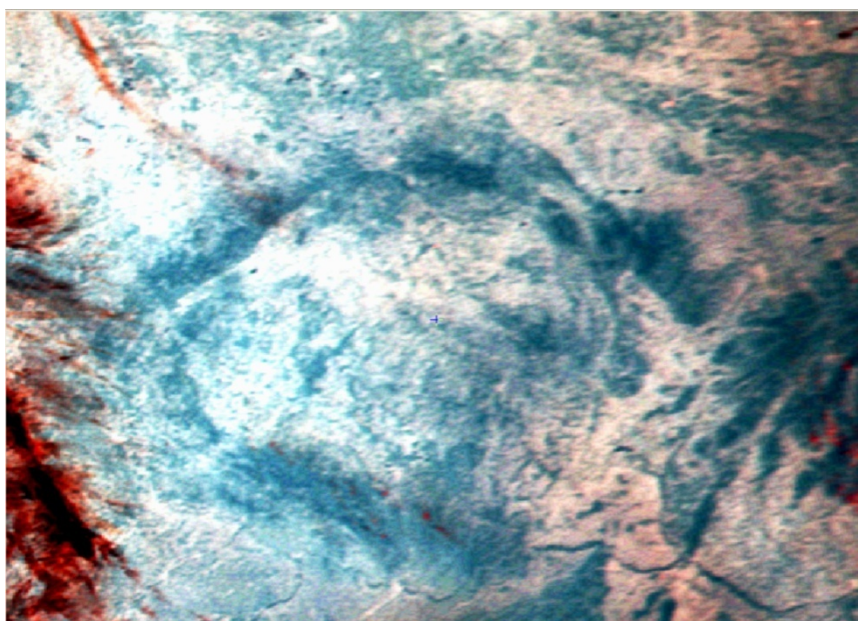


Obrázek 13: Kalibrovaný snímek z družice NOAA-18 ze dne 7. 8. 2008. Kalibrace byla provedena v programu PCI Geomatica pomocí algoritmu AVHRRAD

Při zpracování družicových dat je nutné provést i geometrickou transformaci, kterou přímo pro AVHRR data zpracovává algoritmus AVHRCOR (*AVHRR Automated Correction*), jejíž názorná ukázka je na obr. 13. Pro správné zpracování vyžaduje algoritmus AVHRCOR speciální datové soubory TLE (*Two Line Element*). Jedná se o textový dokument obsahující informace o konkrétních parametrech oběžné dráhy satelitů. Každý pár řádků v textovém souboru TLE popisuje pozici satelitu na vesmírné oběžné dráze v konkrétní den. Pro jednotlivé družice existuje jedinečný textový soubor. Ukázka textového souboru TLE pro družici NOAA-18 je v příloze 8. Aby mohl algoritmus provést geometrickou transformaci, musí obsahovat také textový soubor s informacemi, jehož ukázka je na obr. 13. Pokud bude některá z těchto vyžadovaných informací chybět, není již možné geometrickou transformaci provést. Kromě využití textového souboru *AVHRR Orbit segment* lze aplikovat pro geometrickou korekci i vlíčovací body, jejichž seznam (*AVHRR Ground Control Points*) je stejně jako předchozí textový segment součástí AVHRR dat.



Obrázek 14: Georeferencovaný snímek z družice NOAA-18 ze dne 7. 8. 2008, který byl po kalibraci dále geometricky transformován algoritmem AVHRCOR v programu PCI Geomatica

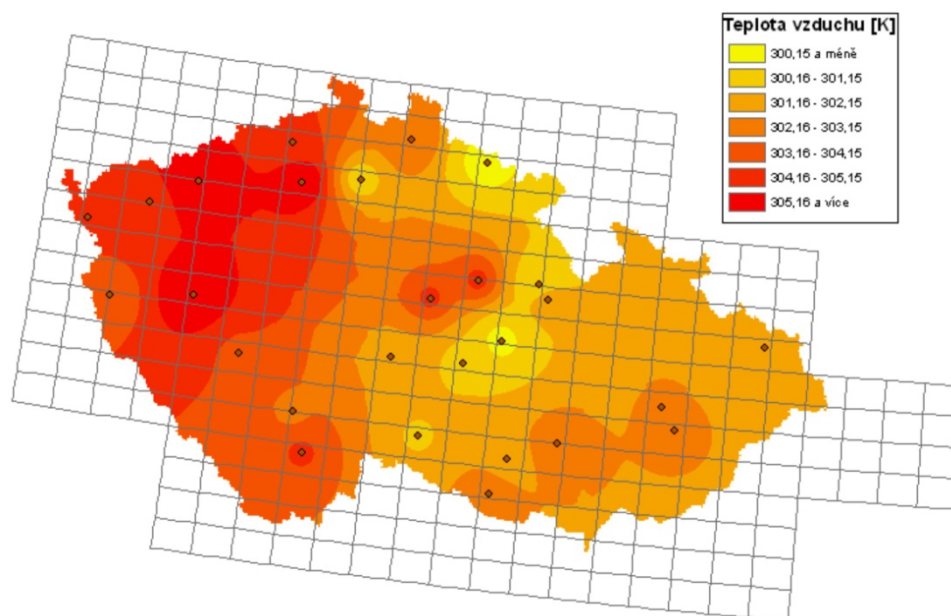


Obrázek 15: Výřez České republiky ze snímku pořízeného družicí NOAA-18 ze dne 7. 8. 2008, který byl pomocí algoritmů kalibrován a georeferencován v programu PCI Geomatica.

6.1. Porovnání s pozemním měřením

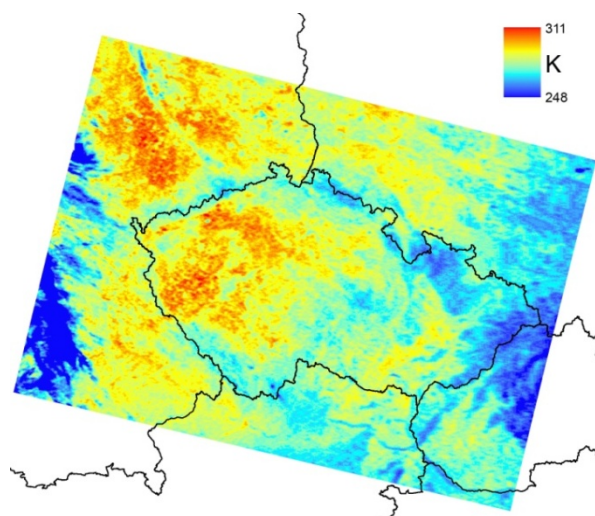
Při porovnání metody pozemního měření teploty vzduchu a teploty povrchu země získané družicovými měřeními vyvstává otázka, k jakému účelu mají získaná data sloužit. Každá z těchto dvou zmíněných metod má své relativní výhody a nevýhody. Teploty vzduchu z meteorologických měření v pozemních stanicích nám podávají informaci pro daný konkrétní bod, ve kterém je dané měření uskutečněno. Díky družicovým měřením máme možnost získat údaje o teplotě povrchu v plošném měřítku, což nám nabízí nový pohled na danou problematiku. Při družicových měření, ale dochází k ovlivnění přesnosti dat, při jejich sběru, v důsledku působení vlivů atmosféry (absorpce, rozptyl). S chybami tohoto druhu je nutné počítat a pomocí vhodných algoritmů (GSW, ATCOR_2) je opravit. Pracujeme tedy se dvěma odlišnými parametry (teplota vzduchu a jasová teplota), které nám však při jejich kombinaci mohou poskytnout nové informace.

Měření využívající satelitní senzory a pozemní bodová měření jsou založena na odlišných bázích a mají i rozdílné rozlišení. Mnoho proměnných, jako je např. povrchová teplota pevniny (LST) nebo emisivita, nemůže být jednoduše detekováno na pozemních meteorologických stanicích v měřítku, které odpovídá rozlišení družicových senzorů. Z těchto důvodů je přímé porovnání pozemních měření teploty vzduchu v jednom místě a družicových měření prakticky neproveditelné. A proto je i obtížné určit přesnost modelů LST a emisivity z prostorových dat.



Obrázek 16: Teplota vzduchu na území ČR ze dne 7. 8. 2008 z 27 profesionálních meteorologických stanic, hodnoty teploty vzduchu byly interpolovány v prostředí ArcMap pomocí funkce IDW.

Mapa teploty vzduchu z pozemních meteorologických stanic vznikla z dat, která byla zaznamenána dne 7. 8. 2008 na 27 profesionálních stanicích a byla zveřejněna na internetových stránkách ČHMÚ (*Český hydrometeorologický ústav*). Zpracování hodnot teploty vzduchu do mapového výstupu proběhlo v programu ArcMap společnosti ESRI. V atributové tabulce bodové vrstvy pozemních meteorologických stanic byly do nově vytvořeného sloupce nakopírovány naměřené hodnoty a pomocí interpolační funkce IDW (*Inverse Distance Weighted – metoda vážené vzdálenosti*) vznikla výsledná mapa. Interpolační metoda IDW spočívá v odhadu hodnoty buněk za pomoci výpočtu z hodnot buněk ležících v určené vzdálenosti od středu kružnice. U této metody se předpokládá, že s rostoucí vzdáleností od buňky o známé hodnotě klesá její vliv na interpolované hodnoty. Před spuštěním interpolační metody IDW je možné nastavit, aby výsledný výstup byl oříznutý podle vybrané vzorové vrstvy. Tato možnost byla využita, aby výstup měl tvar České republiky.

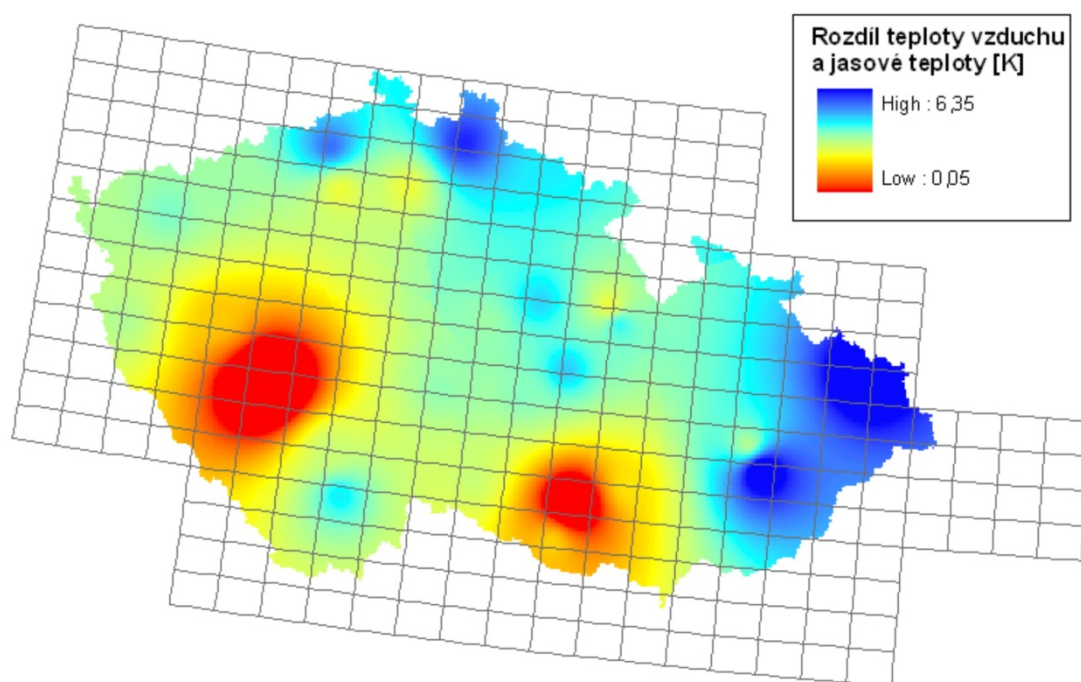


Obrázek 17: Jasová teplota pro území ČR ze dne 7. 8. 2008

I přesto, že se jedná o dva rozlišné parametry, je porovnání jasové teploty získané z družicových měření s pozemním meteorologickým měřením teploty vzduchu provedeno na základě předpokladu, že teplota vzduchu není příliš rozlišná od teploty povrchu a v dané situaci představuje jeden z mála vhodných údajů pro zpracování. Obr. 12 s jasovou teplotou pro území ČR ze dne 7. 8. 2008 vznikl tak, že po zpracování dat v programu PCI Geomatica, byl vyexportován čtvrtý termální kanál ve formátu TIFF a importován do programu ArcMap, kde pomocí funkčních vlastností vrstvy (*Symbology*), lze vytvořit barevnou škálu dle hodnoty teploty. Snahou je určit, zda teplota vzduchu a jasová teplota, mají nějaký společný trend a co je jeho příčinou. Proto, abychom dostali co nejpřesnější hodnoty jasové teploty, je vhodné pomocí algoritmů na atmosférickou korekci (např. ATCOR_2 v programu PCI Geomatica) odstranit vlivy způsobené atmosférou. Pro jasovou teplotu na obr. 12 nebyly atmosférické korekce provedeny, jelikož uvedený algoritmu ATCOR_2 má již předem definované družice, pro které je schopen korekci provést, ale družice NOAA mezi nimi není a bohužel se nepodařilo najít jiný program, který by umožňoval atmosférickou korekci pro data pořízená družicemi NOAA. Kromě zmíněných korekcí odstraňujících vlivy atmosféry, je dobré pro zpřesnění výsledné jasové teploty uvažovat i land cover, jelikož každý povrch, druh vegetace má jiné vlastnosti, a proto se jejich hodnoty mohou výrazně lišit. Někdy mohou být rozdíly mezi teplotou vzduchu a jasovou teplotou ovlivněny reliéfem v daném místě. Pokud je pozemní stanice lokalizována například v horském údolí, kde může stékat studený vzduch do údolí, bude se teplota vzduchu lišit od teploty povrchu, který je po delší dobu ozařován.

Stanice	Teplota vzduchu T_c [°C]	Teplota vzduchu T_k [K]	Jasová teplota povrchu [K]	Rozdíl teploty vzduchu a jasové teploty
Brno	28,8	301,95	301	0,95
ČB	30,2	303,35	300	3,35
Čáslav	30,3	303,45	301	2,45
Doksany	32,3	305,45	304	1,45
Dukovany	27,5	300,65	301	-0,35
Holešov	28,2	301,35	295	6,35
Cheb	30,1	303,25	301	2,25
Karlovy Vary	30,6	303,75	301	2,75
Kocelovice	29,8	302,95	303	-0,05
Kostelní Myslová	26,8	299,95	298	1,95
Košetice	27,4	300,55	298	2,55
Kuchařovice	28,6	301,75	301	0,75
Liberec	29	302,15	297	5,15
Luka	26,3	299,45	298	1,45
Ostrava	27,2	300,35	294	6,35
Pardubice	30,4	303,55	300	3,55
Pec p. Sněžkou	24,2	297,35	294	3,35
Plzeň	32,5	305,65	305	0,65
Polom	25,3	298,45	297	1,45
Přerov	28,1	301,25	299	2,25
Příbyslav	26,5	299,65	297	2,65
Přimda	29,1	302,25	300	2,25
Svratouch	24,5	297,65	294	3,65
Tušimice	32,3	305,45	303	2,45
Temelín	28,8	301,95	300	1,95
Ústí n. L.	30,3	303,45	299	4,45
Ústí n. Orl.	28	301,15	298	3,15

Následující tabulka obsahuje hodnoty teploty vzduchu z celkem 27 pozemních meteorologických stanic zaznamenané dne 7. 8. 2008 a hodnoty jasové povrchové teploty pro pixely se stejnou polohou jakou mají i meteorologické stanice, aby bylo možné dané hodnoty porovnat, i přestože je teplota pouze indikátorem a je použita s vědomím, že se jedná o zcela dva odlišné údaje, ale v dané situaci není možnost lepšího srovnání. Průměrný rozdíl mezi teplotou vzduchu a jasovou teplotou je 2,56 [K]. Jak je patrné z předchozí tabulky, největší rozdíl mezi teplotami 6,35 [K] byl zjištěn na dvou stanicích a to v Holešově a v Ostravě, přičemž takovýto rozdíl mohl být způsobem přechodem oblačnosti přes tuto část území v danou chvíli. Jelikož data nebyla opravena pomocí korekce o vlivy atmosféry, je do jisté míry těžké určit, jaká odchylka je ještě v toleranci a kdy je rozdíl příliš velký, že data neodpovídají skutečným hodnotám a jsou tedy nepoužitelná. Z důvodů různých faktorů ovlivňujících přesnost, o kterých víme, ale nedokážeme určit míru jejich vlivu, se stanovení hranice, od které by se dalo říci, že jsou data kvalitní a správná, raději vyhneme.



Obrázek 18: Rozdíl teploty vzduchu [K] a jasové povrchové teploty [K] ze dne 7. 8. 2008

KAPITOLA 7

Diskuze a závěr

Prvotním podnětem, který vedl k vytvoření této práce, byl především zájem o danou problematiku, jak z oblasti meteorologie, tak i, a to především, obor Dálkového průzkumu Země. V průběhu zpracovávání se ukázalo, že převážná většina odborných zdrojů a materiálů pocházela od zahraničních autorů či organizací zabývajících se zpracováním družicových dat, nebo od organizací, které přímo zpravují a provozují meteorologické družice. Tyto odborné články byly tedy k dispozici pouze v cizím, nejčastěji v anglickém jazyce a staly se jedním ze základních konstrukčních prvků, jejichž studování, zpracování a syntéza přinesla nový pohled na zkoumanou oblast zájmu.

Celá práce je systematicky rozdělena do několika částí, které na sebe navazují v logickém sledu a podávají tak každému čtenáři jasné, přehledné a odborné informace k danému tématu. Úvod práce obsahuje všeobecný nástin do sledované problematiky a vysvětlení pojmů, se kterými se bude nadále pracovat. Zvláště pak vysvětlení, v čem spočívá získávání povrchové teploty země z družicových dat a jejich následné využití ve vědecké komunitě, ale i hledání nových směrů zpracování v běžné praxi. Meteorologické družice a jejich přístrojové funkční vybavení, z nichž je nejdůležitější radiometr AVHRR/3 na družicích NOAA a přístroj SEVIRI nesený družicemi Meteosat druhé generace, jsou nedílnou a jednou z hlavních součástí při zisku LST.

Hlavním cílem bylo především sestavení metodického postupu při získávání povrchové teploty pevniny (LST) s využitím družicových dat. K zpracování byly využity údaje z meteorologických družic NOAA-17 a NOAA-18 a to především ze systému CLASS (*Comprehensive Large Array-data Stewardship System*), který umožňuje bezplatný přístup ke snímkům. Dále byly doplněny daty získanými ze stanice pro příjem družicových dat na Katedře aplikované geoinformatiky a kartografie, Univerzity Karlovy v Praze, které byly navíc upraveny ve speciálním softwaru *AVHRR Manager* a především *HRPT reader application* a aplikace předem stanovených algoritmů poskytla zajímavé zpracování snímků (*SST, Fire, False colour, RGB, Vegetation, Temperature*). Monitoring LST je jedním z klíčových faktorů pro meteorologické a klimatologické numerické předpovědní modely, ale i pro další vědní obory a stává se velice podstatným parametrem při různých studiích. Získaná data nejsou v takovém stavu, aby se na ně daly okamžitě aplikovat algoritmy pro atmosférické korekce. Nejprve se musí daná data kalibrovat a zgeoreferencovat a teprve v takové podobě je možné provést další kroky, jak již bylo zmíněno, aplikovat algoritmy (např. *GSW – Generalized Split Window algorithm*, či *ATCOR_2*), které opraví data o vlivy atmosféry. V této práci však

atmosférické korekce provedeny nebyly, jelikož algoritmy byly předem předdefinovány pro jednotlivé družice, mezi nimiž však družice NOAA nebyla.

Alternativní pohled nabízí porovnání teploty povrchu země (*LST*) z družicových dat a teploty vzduchu z pozemních měření v meteorologických budkách. Všeobecně je přímé porovnání těchto dvou způsobů měření nemožné, jelikož mají rozlišná rozlišení a jejich metody jsou založeny na odlišné bázi. Pozemní měření reprezentují hodnotu v daném konkrétním bodě, kdežto družicová měření podávají spojitě informace pro plošně rozsáhlé území. Avšak při spojení či vzájemném doplňování těchto dvou způsobů mohou poskytovat cenné informace. Teplota vzduchu je použita s vědomím, že se jedná pouze o indikátor, jelikož není k dispozici lepší parametr pro srovnání.

Následující postup by se dal vylepšit tím, že by se při zpracování zahrnuly korekce na zmírnění vlivu atmosféry (difúze na molekulách vzduchu a aerosolových částicích, absorpce). Další možností, jak zlepšit výsledné hodnoty, je zahrnout fakt, že každý objekt (povrch, vegetace, látka atd.) má rozdílnou emisivitu a nepočítat tedy pouze s její konstantní hodnotou. Oblačnost je dalším faktorem, který vstupuje do procesu při zpracování. Již při slabé oblačnosti je infračervené záření absorbováno. Jedním z možných řešení, jak uvažovat všechny zmíněné parametry a odstranit jejich vlivy na výsledné hodnoty, je naprogramování algoritmu *GSW*. Právě algoritmus *Generalized Split Window* umožňuje korekce atmosférických efektů a to na základě odlišné absorpce v sousedních infračervených kanálech. Dále se také zaměřuje na detekci pouze bezoblačných pixelů, aby přesnost dat byla co nejvyšší. Tento algoritmus byl vyvinut na základě

SEZNAM ZDROJŮ INFORMACÍ

- WAN, Z.; DOZIER, J. 1996. *The Generalized Split-Window Algorithm for Retrieving Land-Surface Temperature from Space* [online]. 1996. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, VOL. 34, NO.4 [cit. 2008-4-12]. Dostupné z URL: <http://modis.gsfc.nasa.gov/EOS/SCITEAM/ARTICLES/MST_A0167.pdf>
- BATATIA, H.; BESSAIH, N. 1997. *Satellite Land Surface Temperature for Sawak Area* [online]. University Malaysia Sarawak, 1997 [cit. 2008-3-10]. Dostupné z URL: <<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1997/ts12/ts12001pf.htm>>
- TUNGALAGSAIKHAN, P.; GUENTHER, K. 2007. *NOAA AVHRR derived Land Surface Temperature Maps (LST)* [online] [cit. 2008-6-22]. Dostupné z URL: <http://taurus.caf.dlr.de:8080/short_guide/D-LST.html>
- LANDSAF. 2006. *Land Surface Temperature – Product User Manual* [online] [cit. 2008-3-18]. Dostupné z URL: <<http://landsaf.meteo.pt/GetDocument.do;jsessionid=CBADEC0C3B91609B9A3D369DF3130DD6?id=167>>
- KOLÁŘ, J.; HALOUNOVÁ, L.; PAVELKA K. 2000. *Dálkový průzkum Země 10*. Praha: ČVUT, 200. 164 s.
- POLÁČKOVÁ J. 1996. *Podoba a struktura kvalifikační práce na katedře* [online]. Praha, 2008 [cit. 2008-7-25]. Dostupné z URL: <<http://www.natur.cuni.cz/gis>>
- NOAA KLM USER'S GUIDE. 2000. *Introduction to the NOAA KLM System* [online] [cit. 2008-4-12]. Dostupné z URL: <<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/html/c1/sec1-0.htm>>
- NOAA KLM USER'S GUIDE. 2000. *Orbital Information* [online] [cit. 2008-7-20]. Dostupné z URL: <<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/produg/html/c1/sec1-2.htm>>
- NOAA KLM USER'S GUIDE. 2000. *Description of the NOAA KLM Sensor Package* [online] [cit. 2008-4-12]. Dostupné z URL: <<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/html/c3/sec3-0.htm>>
- NOAA KLM USER'S GUIDE. 2000. *Advanced Very High Resolution Radiometr/3 (AVHRR/3)* [online] [cit. 2008-7-21]. Dostupné z URL: <<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/html/c3/sec3-1.htm>>

- NOAA KLM USER'S GUIDE. 2000. *High Resolution Infrared Radiation Sounder (HIRS)* [online] [cit. 2008-4-12]. Dostupné z URL: <<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/html/c3/sec3-2.htm>>
- NOAA KLM USER'S GUIDE. 2000. *Advanced Microwave Sounding Unit-A (AMSU-A)* [online] [cit. 2008-4-12]. Dostupné z URL: <<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/html/c3/sec3-3.htm>>
- NOAA KLM USER'S GUIDE. 2000. *Advanced Microwave Sounding Unit-B (AMSU-B)* [online] [cit. 2008-4-12]. Dostupné z URL: <<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/html/c3/sec3-4.htm>>
- NOAA KLM USER'S GUIDE. 2000. *HRPT System* [online] [cit. 2008-4-12]. Dostupné z URL: <<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/html/c4/sec4-1.htm>>
- NOAA KLM USER'S GUIDE. 2000. *APT System* [online] [cit. 2008-4-12]. Dostupné z URL: <<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/html/c4/sec4-2.htm>>
- NOAA KLM USER'S GUIDE. 2000. *Calibration of NOAA KLM Instruments* [online] [cit. 2008-4-12]. Dostupné z URL: <<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/html/c7/sec7-0.htm>>
- NOAA SATELLITE AND INFORMATION SERVER. 2008. *NOAA's Geostationary and Polar-Orbiting Weather Satellites* [online] [cit. 2008-7-30]. Dostupné z URL: <<http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/genlsatl.html>>
- NOAA SATELLITE AND INFORMATION SERVER. 2008. *Advanced Very High Resolution Radiometer - AVHRR* [online] [cit. 2008-7-19]. Dostupné z URL: <<http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/avhrr.html>>
- ESA. 2006. *Instruments - AVHRR* [online] [cit. 2008-7-30]. Dostupné z URL: <http://www.esa.int/esaLP/SEM9VEG23IE_LPmetop_0.html>
- ČHMÚ. 2006. *Informace o družicích NOAA* [online]. Praha, 2006. [cit. 2008-5-21]. Dostupné z URL: <http://www.chmu.cz/meteo/sat/inf_noaa.html>
- ČHMÚ. 2007. *Popis družice MSG a jejího přístrojového vybavení* [online]. Praha, ©2005 - 2007. [cit. 2008-5-21]. Dostupné z URL: <<http://www.chmu.cz/meteo/msg/msg03.html>>
- ČHMÚ. 2007. *SEVIRI – Základy interpretace jednotlivých spektrálních kanálů* [online]. Praha, ©2005 - 2007. [cit. 2008-5-21]. Dostupné z URL: <<http://www.chmu.cz/meteo/msg/msg07.html>>

- ČHMÚ. 2007. *SEVIRI popis přístroje* [online]. Praha, ©2005 - 2007. [cit. 2008-5-21].
Dostupné z URL: <<http://www.chmu.cz/meteo/msg/msg04.html>>
- MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. 1993. *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. 1. vyd. Praha : Academia, 1993. 594 s. ISBN: 80-85368-45-5
- NETOPIIL R. 1984. *Fyzická geografie I*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1984. 273 s.
- DASH, P.; OLESEN, F. S.; Prata J. A. *Optimal Land Surface Temperature Validation Site in Europe for MSG* [online]. Germany: Institute of Meteorology and Climate Research [cit. 2008-5-5]. Dostupné z URL:
<http://www.eumetcast.int/Home/Main/Publications/Conference_and_Workshop_Proceedings/groups/cps/documents/pdf_conf%20p41_s2_dash_v.pdf>
- NASA. 2004. *Satellites Act as a Thermometers in Space, Show Earth has a Fever* [online]. 2004 [cit. 2008-7-21]. Dostupné z URL:
<<http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2004/0315skintemp.html>>
- BEIK, F.; SARADIJAN REZA, M. 2003 *Emissivity Determination for Land Surface Temperature estimation of Iran using AVHRR Thermal Infrared Data* [online]. 2003. Teheran: Remote Sensing Division, Faculty of Engineering [cit. 2008-8-2]. Dostupné z URL: <<http://www.gisdevelopment.net/technology/rs/pdf/ma03196.pdf>>
- MURDYCH, Z. 1985. *Dálkový průzkum Země*. 1. vyd. Praha : Academia, 1985. 144 s.
- ČAPEK, R. 1978. *Dálkový průzkum a fotointerpretace z hlediska geografa*. 1. vyd. Praha : Univerzita Karlova v Praze, 1978. 164 s.
- BRÁVENÝ, L.; ŠTYCH, P.; GRILL, S. 2006. *Funkční nástroje ArcGIS 9.1*. 1. vyd. Praha : Akademie kosmických technologií CITT, 2006. 65 s.
- ŠTYCH, P. ...[et al.]. 2008. *Vybrané funkce geoinformačních systémů*. 1. vyd. Praha : Akademie kosmických technologií CITT, 2008. 178 s.
- EUMETSAT. *Meteosat Second Generation (MSG)*. [online]. Copyright 2008 © EUMETSAT [cit. 2008-4-1]. Dostupné z URL:
<http://www.eumetsat.int/Home/Main/What_We_Do/Satellites/Meteosat_Second_Generation/index.htm?l=en>

POUŽITÉ PROGRAMY

Geomatica Focus V9.1, PCI Geomatics ©2003

ArcMap V9.1, ArcGIS 9 ESRI©1999 – 2005

Corel DRAW X3, Corel DRAW Graphic Suite X3 ©2005 Corel Corporation

ReadHRTP, HRTP Toolset, SatSignal Software, Edinburgh

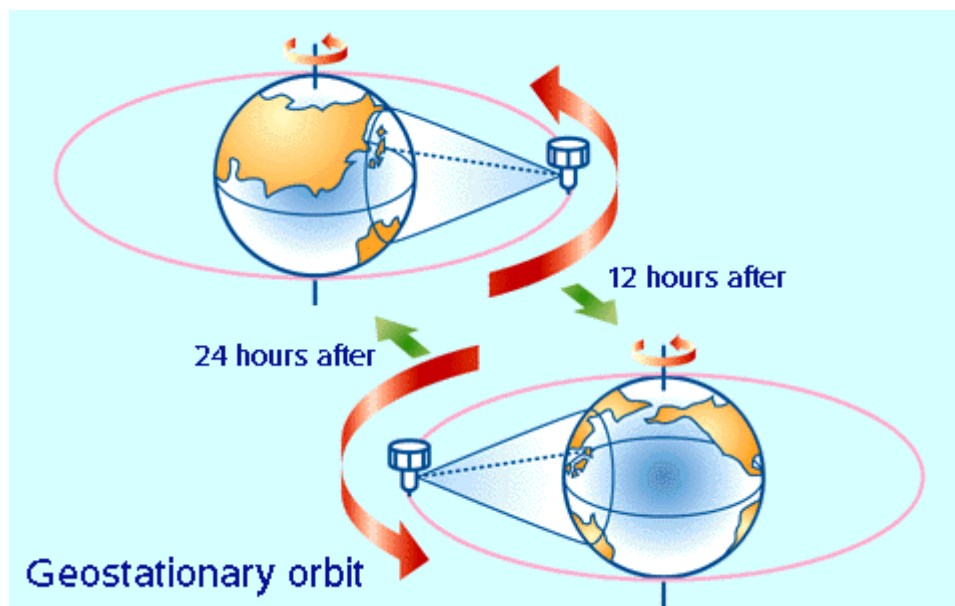
AVHRR Manager, HRTP Toolset, SatSignal Software, Edinburgh

SEZNAM PŘÍLOH

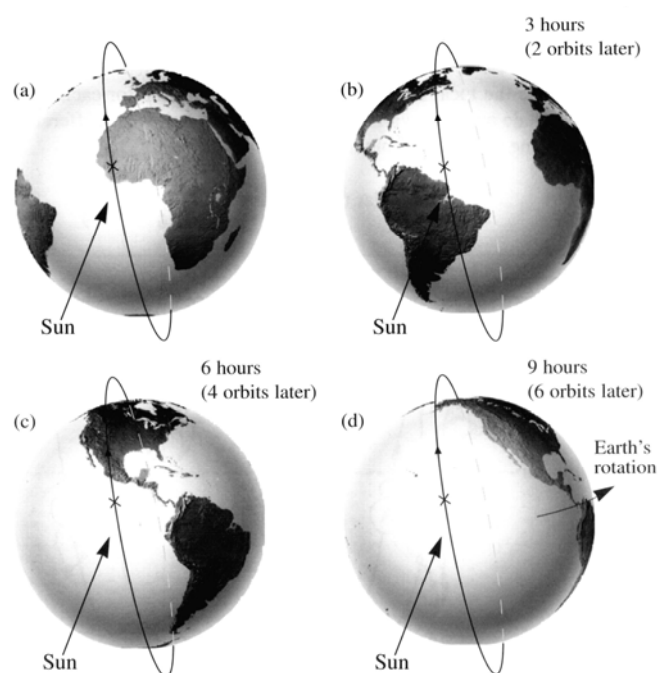
Příloha 1	Oběžné dráhy družic	52
Příloha 2	Přístup k snímkům NOAA	53
Příloha 3	Ukázky různých zpracování LST	56
Příloha 4	Družicové snímky z přijímací stanice na Katedře aplikované geoinformatiky a kartografie UK v Praze	58
Příloha 5	NDVI pro snímky pořízené družicemi NOAA	60
Příloha 6	Zpracování snímků z družice NOAA-15 ze dne 7. 8. 2008	61
Příloha 7	Jasová teplota z družic NOAA-15 a NOAA-18	63
Příloha 8	Textový soubor TLE pro družici NOAA-18	65

Příloha 1: OBĚŽNÉ DRÁHY METEOROLOGICKÝCH DRUŽIC

Příloha 1.1: Geostacionární oběžná dráha

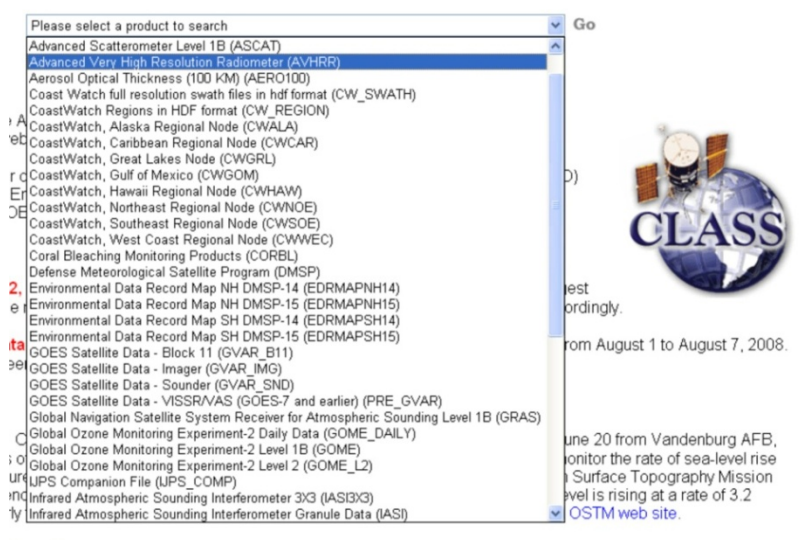


Příloha 2.1: Kvazipolární běžná dráha



Příloha 2: PŘÍSTUP K SNÍMKŮM NOAA V SYSTÉMU CLASS

Příloha 2.1: Výběr přístroje, ze kterého požadujeme data pro další zpracování, v systému CLASS (*Comprehensive Large Array-data Stewardship System*) dostupné na webové adrese: <http://www.nsof.class.noaa.gov/saa/products/welcome.jsessionid=A178BAF13E5DC8AAC4F07F563538B68C>



Příloha 2.2: Nastavení parametrů charakterizujících formát dat, požadovanou oblast na zemském povrchu a údaje o konkrétní družici. Pro přístroj AVHRR/3 dostupné na webové adrese:

http://www.nsof.class.noaa.gov/saa/products/search?sub_id=0&datatype_family=AVHRR&submit.x=21&submit.y=8

Spatial

85.0
-14.0 42.0
26.0
Zoom In Zoom Out Max Area

Select Geometry: XY Plane

Note: XY Plane searches are resized to enforce a minimum lat/lon difference of 0.1 degrees.

Temporal

Start Date (format: YYYY-MM-DD) 2008-08-12	Start Time (format: HH:MM:SS) 00:00:00
End Date (format: YYYY-MM-DD) 2008-08-12	End Time (format: HH:MM:SS) 23:59:59

Specify the range of the times for: ☐ Each Day Or ☒ The Entire Range Of Days

Advanced Search

Datatype

- ☐ Full Resolution Area Coverage (FRAC) 1KM Level1B
☐ Global Area Coverage (GAC) 4KM Level 1B
☐ High Resolution Picture Transmission (HRPT) 1KM Level 1B
☒ Local Area Coverage (LAC) 1KM Level 1B

Node

- ☐ Ascending
☐ Descending
☐ Either

Receiving Station

- ☐ Cape Ferguson, Australia
☐ Dundee, Scotland UK
☐ Ewa Beach, Hawaii
☐ Gilmore Creek AK
☐ Honolulu Hawaii
☐ Miami, Florida
☐ Monterey CA
☐ Sioux Falls SD
☐ SOCC
☐ Svalbard
☐ Western Europe
☐ Wallops Island VA

Satellite

METOP-A
 NOAA-18
 NOAA-17
 NOAA-16

Příloha 2.3: Výpis jednotlivých snímků podle zadaných parametrů včetně možnosti jejich výběru pro objednání. Při otevření čísla v položce *View Details* se zobrazí detaily k danému snímku viz. příloha 2.4.

Search Results - AVHRR


Currently you have 4 hits out of 270760 entries.
There are 0 (AVHRR) items in your shopping cart. The shopping cart limit is 100.

Shopping Cart:

View Details	Shopping Cart	Inventory ID	Datatype	Orbit	Start Time	End Time	Satellite	Dataset Name
1	<input type="checkbox"/>	11447723	AVHRR_LAC	16611	2008-08-10 08:57:01.782	2008-08-10 09:08:31.449	N18	NSS.LHRR.NN.D08223.S0857.E09 08.B1661111.GC
2	<input type="checkbox"/>	11447613	AVHRR_LAC	16612	2008-08-10 10:29:03.782	2008-08-10 10:40:33.449	N18	NSS.LHRR.NN.D08223.S1029.E10 40.B1661212.GC
3	<input type="checkbox"/>	11447533	AVHRR_LAC	16613	2008-08-10 12:06:35.782	2008-08-10 12:18:05.449	N18	NSS.LHRR.NN.D08223.S1206.E12 18.B1661213.GC
4	<input type="checkbox"/>	11447523	AVHRR_LAC	16613	2008-08-10 12:16:19.782	2008-08-10 12:27:49.449	N18	NSS.LHRR.NN.D08223.S1216.E12 27.B1661313.GC

Příloha 2.4: Detaily každého konkrétního snímku si může každý zájemce prohlédnout předtím, než si rozhodne data objednat. Jsou zde obsaženy informace o startu a konci letu pro daný den, formátu dat, jaké družice pořídila tato data, včetně malého náhledu snímku pro vybrané kanály.

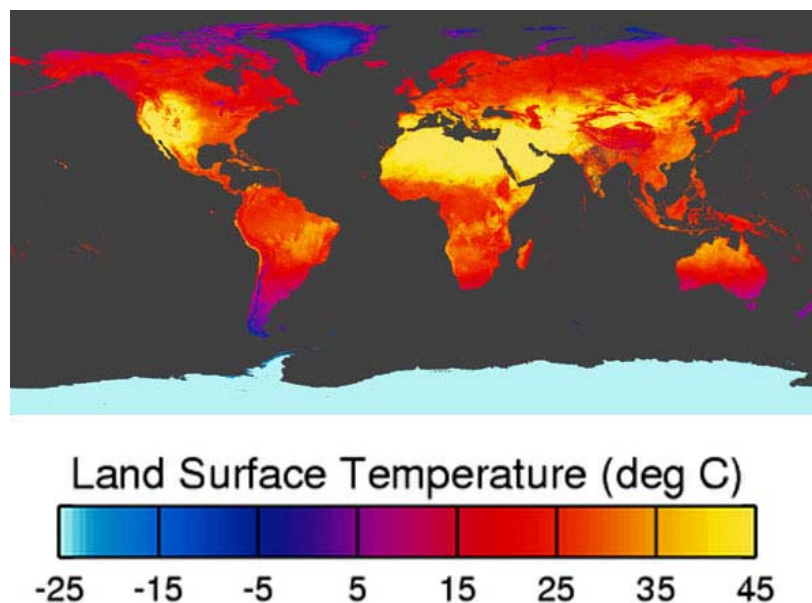
Data Set Detailed Display:	
Inventory ID	11447523
Datatype	Local Area Coverage (LAC) 1KM Level 1B
Orbit	16613
Start Time	2008-08-10 12:16:19.782
End Time	2008-08-10 12:27:49.449
Quality	NSX
Node	Ascending
Satellite	N18
Dataset Name	NSS.LHRR.NN.D08223.S1216.E1227.B1661313.GC
Receiving Station	Gilmore Creek, AK
Size	65710080

Overlapped Region of Geographic Search:	
	
Click on the thumbnail to view the full image.	

Temporal (Geographic Overlap):	
Start Date: 2008-08-10 12:16:19.566	End Date: 2008-08-10 12:27:48.168
Seconds: 689	Direction: Ascending
Spatial (Geographic Overlap):	
1. NW Lat,Long: 59.31 , -28.94	2. NE Lat,Long: 68.73 , 31.56
3. SW Lat,Long: 24.81 , 1.01	4. SE Lat,Long: 29.44 , 30.75

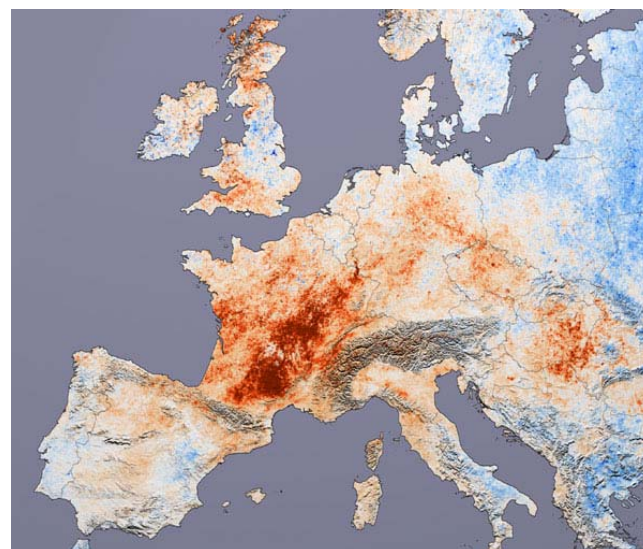
Příloha 3: UKÁZKY RŮZNÝCH ZPRACOVÁNÍ LST

Příloha 3.1: Globální sledování hodnot LST na počátku července 2003 senzorem MODIS



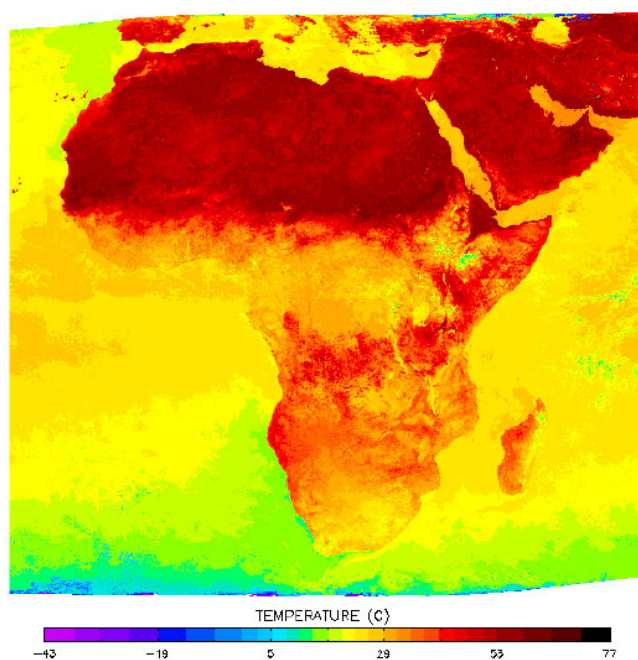
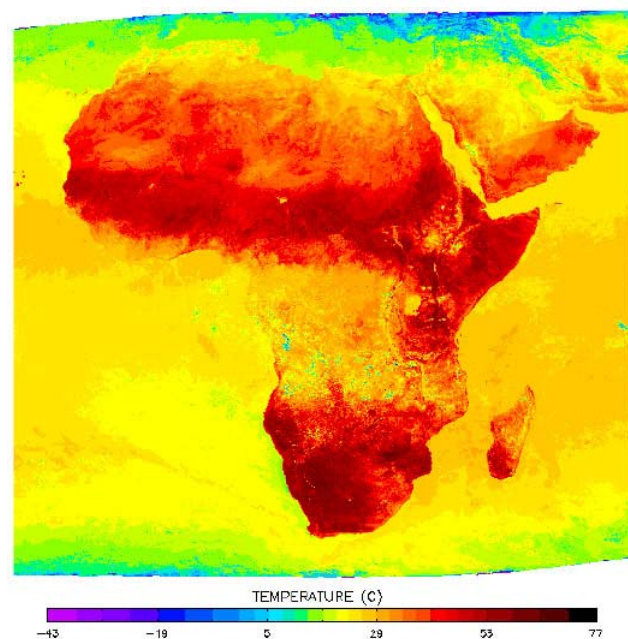
Zdroj: <http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2004/0315skintemp.html>

Příloha 3.2: Sledování rozdílu denních hodnot LST mezi červencem 2001 a červencem 2003 na území Evropy pomocí přístroje MODIS (oblasti ve Francii byly v roce 2003 až o 10°C teplejší)



Zdroj: <http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2004/0315skintemp.html>

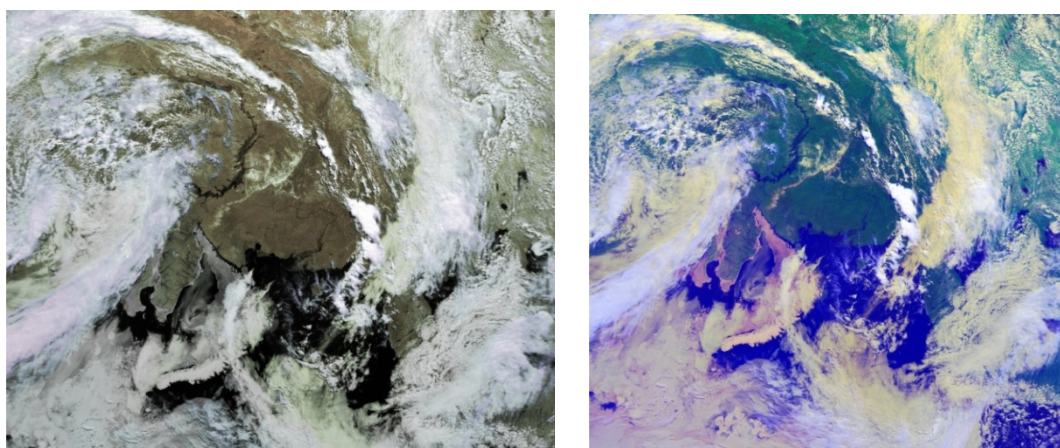
Příloha 3.3: Následující dva obrázky představují hodnoty povrchové teploty v Africe vytvořené za využití přístroje AVHRR na družici NOAA-14. První ukazuje teploty za první týden v měsíci lednu a druhý snímek teplotu za první týden v měsíci červenci.



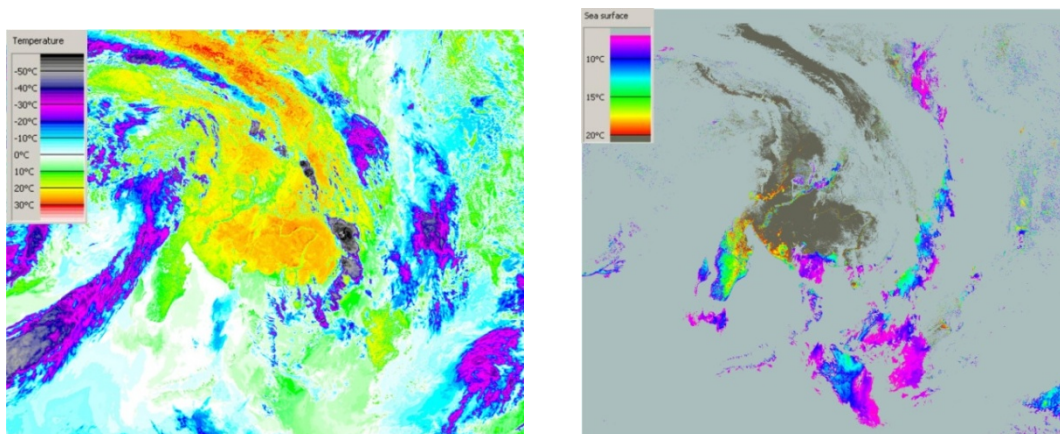
Zdroj: <http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2004/0315skintemp.html>

Příloha 4: DRUŽICOVÉ SNÍMKY Z PŘIJÍMACÍ STANICE NA KATEDŘE APLIKOVANÉ GEOINFORMATIKY A KARTOGRAFIE UK V PRAZE

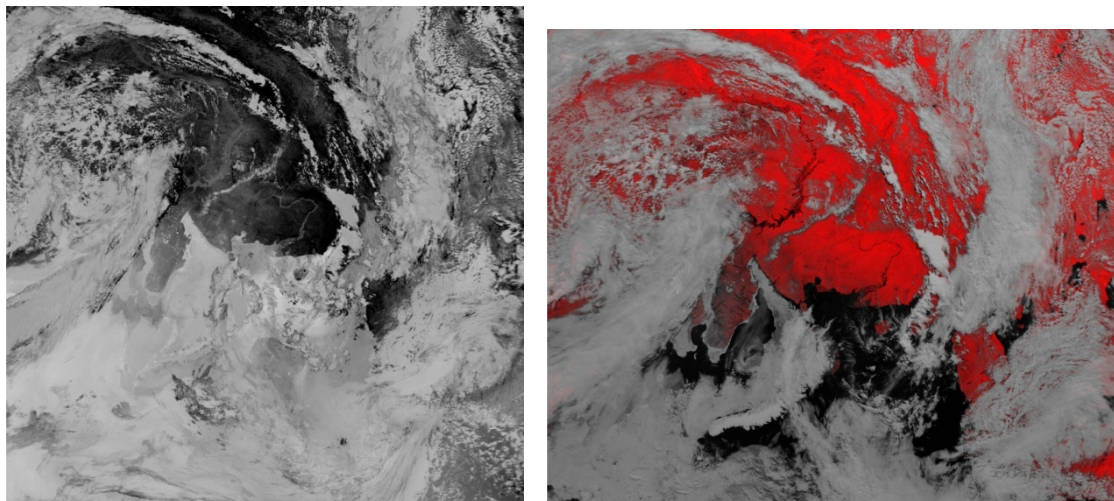
Příloha 4.1: Snímky z družice NOAA -18 pořízené přijímací stanicí umístěné na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie na Přírodovědecké fakultě UK v Praze. Snímek byl zpracován v programu ReadHRPT, který umožňuje aplikaci různých algoritmů, kombinaci kanálů atd., a v tomto případě zobrazuje území v nepravých barvách (*false colour*) nalevo a v barevné kombinaci RGB na pravé straně.



Příloha 4.2: Následující dva snímky opět pocházejí z družice NOAA-18 a jejich zpracování bylo totožné s předchozími snímky z přílohy 4.1. Napravo je snímek reprezentující jasovou teplotu a vlevo snímek mapující SST a každý z nich obsahuje svoji vlastní teplotní stupnici.

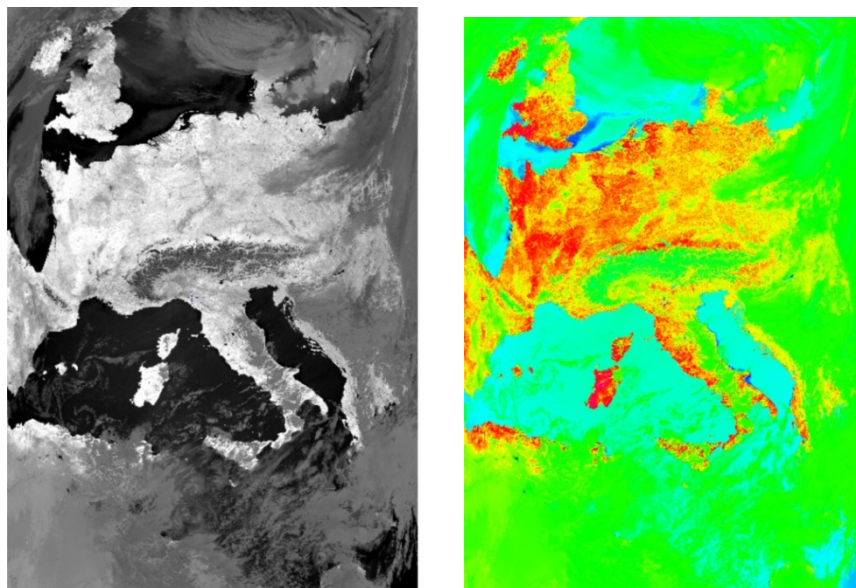


Příloha 4.3: Poslední série snímků z družice NOAA-18, zpracovaná stejným způsobem jako předešlé snímky, reprezentuje na pravé straně kombinaci spektrálních kanálů 4 a 5, a na levé straně velice zajímavé zobrazení stavu vegetace.

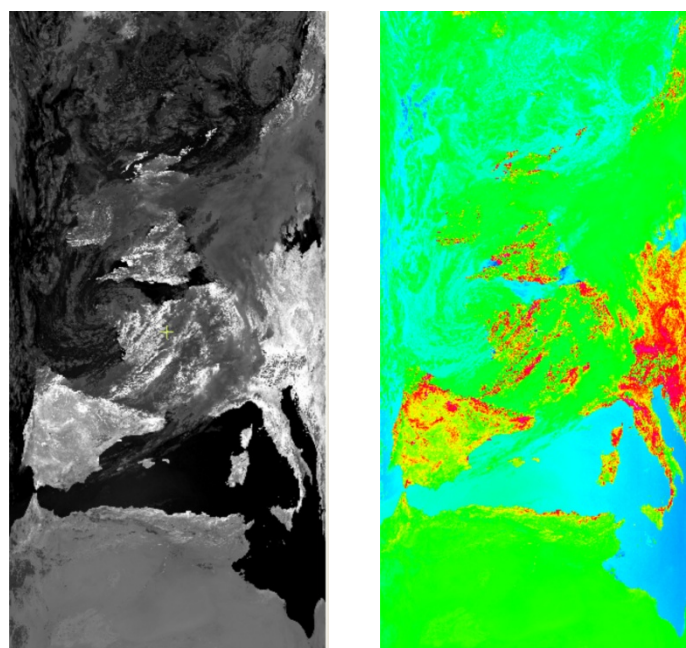


Příloha 5: NDVI PRO SNÍMKY POŘÍZENÉ DRUŽICEMI NOAA

Příloha 5.1: Následující snímky pocházejí z družice NOAA 18 ze dne 10. 2. 2008 a obsahují vypočtenou hodnotu NDVI v programu PCI Geomatica. Snímek nalevo představuje hodnotu NDVI ve stupních šedi a snímek napravo reprezentuje hodnoty NDVI v pseudobarvách (bez upravení barev, dle hodnot vyzařování jednotlivých druhů povrchu).

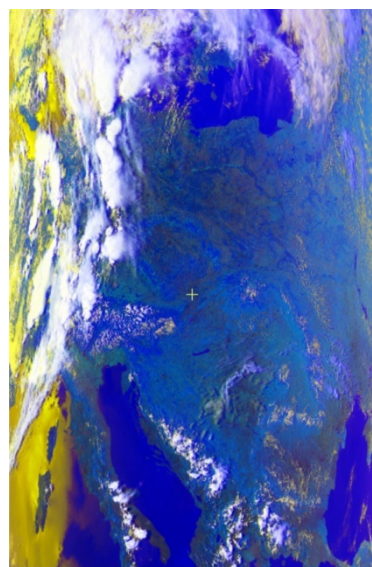


Příloha 5.2: NDVI vypočtené pro snímky z družice NOAA ze dne 7. 8. 2008.

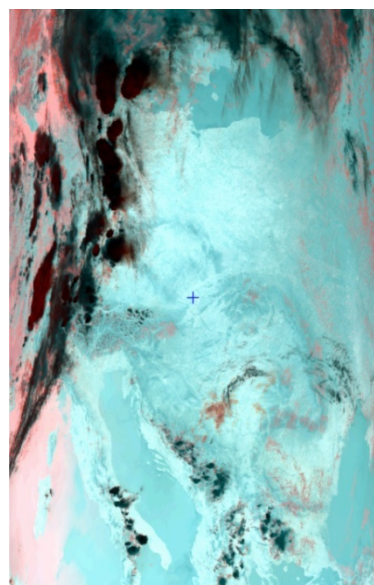


Příloha 6: ZPRACOVÁNÍ SNÍMKŮ Z DRUŽICE NOAA-15 ZE DNE 7. 8. 2008

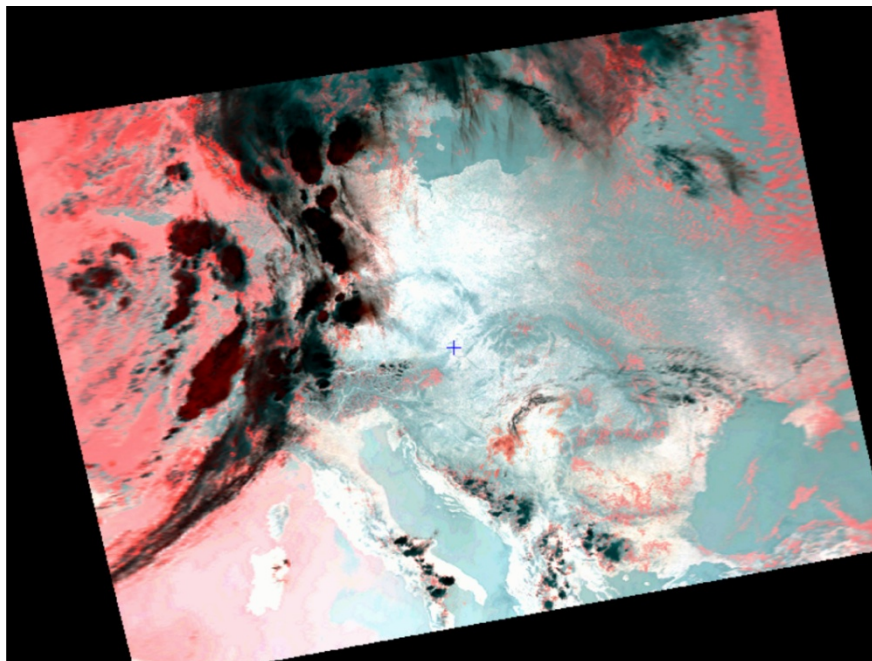
Příloha 6.1: Snímek reprezentuje převážnou část území Evropy a byl pořízen družicí NOAA-15 dne 7. 8. 2008 zhruba v 15:00 SEČ. Dále byl převeden do formátu PCIDSK v programu PCI Geomatica.



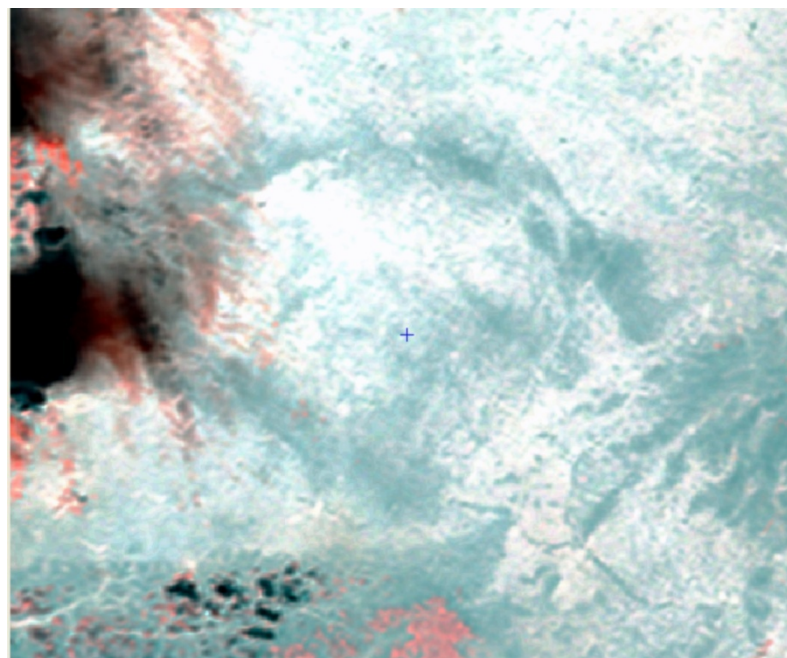
Příloha 6.2: Snímek z přílohy 6.1 byl nadále zpracován v programu PCI Geomatica za využití algoritmu AVHRRAD, který umožňuje kalibraci zvolených kanálů.



Příloha 6.3: Na kalibrovaný snímek z přílohy 6.2 byl aplikován další algoritmus AVHRCOR pro geometrickou korekci.

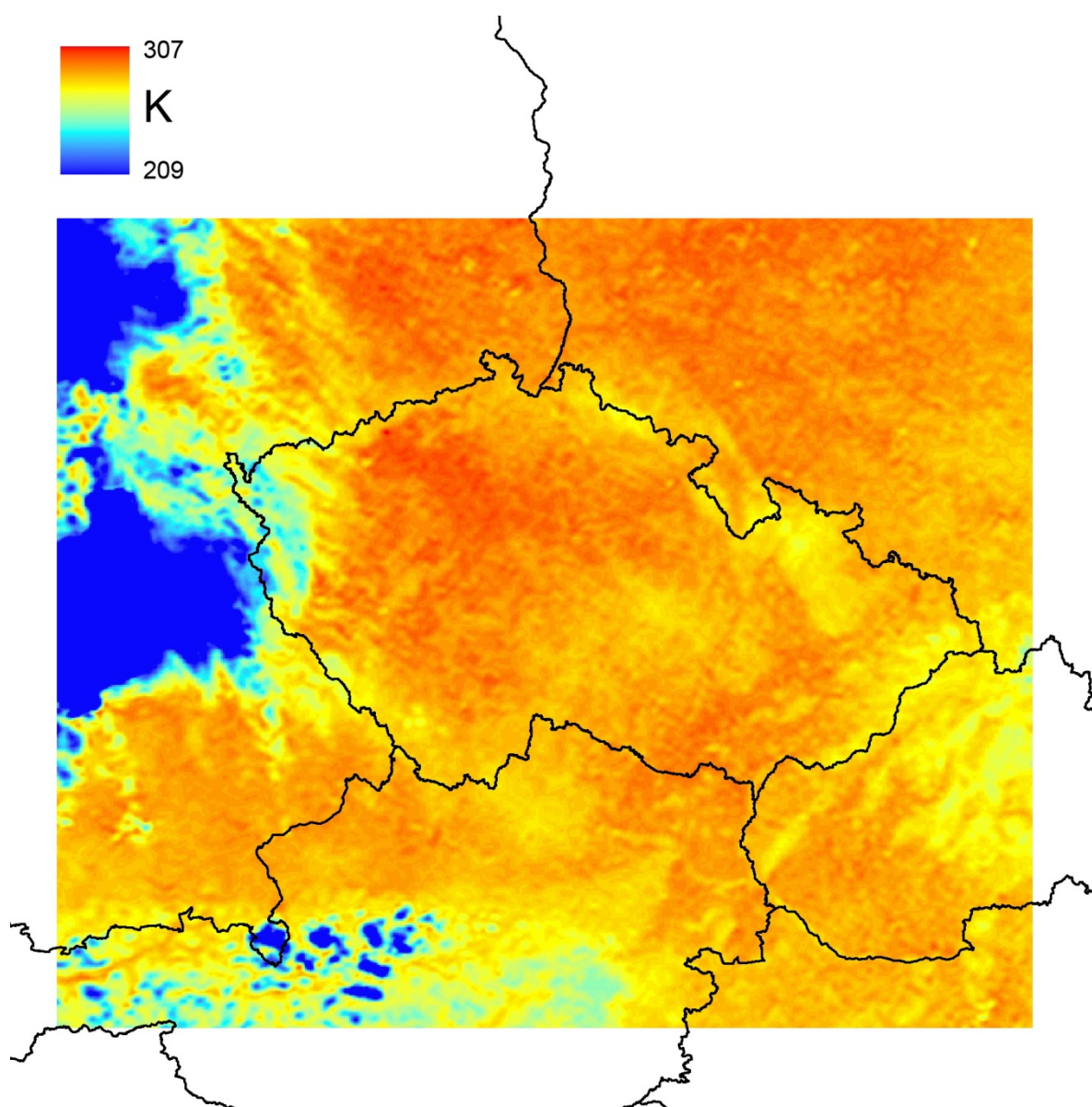


Příloha 6.4: Výřez České republiky ze zpracovaného snímku z družice NOAA-15 pořízeného dne 7. 8. 2008.

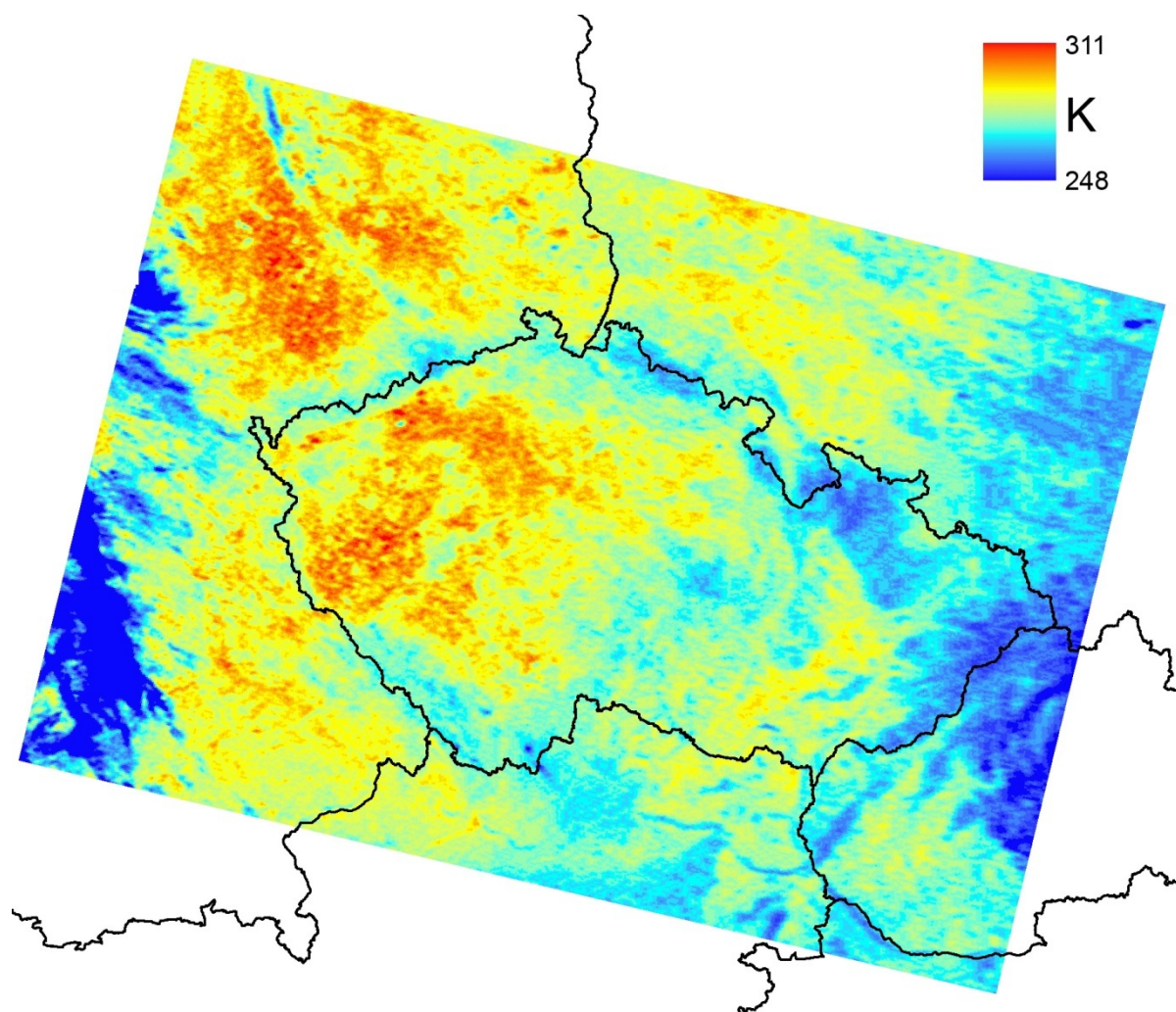


Příloha 7: JASOVÁ TEPLOTA Z DRUŽIC NOAA-15 A NOAA-18

Příloha 7.1: Jasová teplota pro území České republiky z družicových dat pořízených NOAA-15 dne 7. 8. 2008 po 15 hodině SEČ. Družicová data byla zpracována v programu PCI Geomatica, kde byly aplikovány algoritmy pro kalibraci a geometrickou korekci a mapový výstup byl dokončen v programu ArcMap, kde byla upravena barevná stupnice hodnot jasové teploty včetně legendy.



Příloha 7.2: Stejným způsobem, jako v příloze 7.1, byla získána i jasová teplota pro data pořízená družicí NOAA-18 ze dne 7. 8. 2008 v časovém rozmezí 12 až 13 hodin.



Příloha 8: TEXTOVÝ SOUBOR TLE PRO DRUŽICI NOAA-18

Příloha 8.1: Následující obrázek představuje textový soubor TLE, který je nezbytnou součástí při použití algoritmu na geometrickou korekci. Textový soubor obsahuje informace o konkrétních parametrech oběžné dráhy družice.

```

1 28654U 05018A 08218.47172357 .00000265 00000-0 17125-3 0 5318
2 28654 098.8678 158.7992 0014464 170.5837 189.5609 14.11182434165429
1 28654U 05018A 08218.82623404 +.00000345 +00000-0 +21545-3 0 05322
2 28654 098.8679 159.1493 0014488 169.7627 190.3870 14.11183129165471
1 28654U 05018A 08219.46435168 .00000377 00000-0 23334-3 0 5324
2 28654 098.8678 159.7798 0014586 168.0907 192.0606 14.11183745165566
1 28654U 05018A 08219.81886197 +.00000387 +00000-0 +23906-3 0 05332
2 28654 098.8673 160.1300 0014561 167.0102 193.1448 14.11184142165619
1 28654U 05018A 08220.45697978 +.00000347 +00000-0 +21663-3 0 05335
2 28654 098.8678 160.7606 0014580 165.2632 194.8950 14.11184450165706
1 28654U 05018A 08221.37870612 .00000209 00000-0 14028-3 0 5340
2 28654 098.8677 161.6713 0014537 162.6775 197.4874 14.11184433165834
1 28654U 05018A 08222.37133523 -.00000002 00000-0 22962-4 0 5354
2 28654 098.8675 162.6521 0014489 159.7671 200.4067 14.11183787165973

```

Příloha 8.2: Ukázka souhrnu informací, které jsou vyžadovány pro úspěšnou kalibraci algoritmem AVHRRAD. Pokud při kalibraci bude jedna z těchto informací chybět, není možné operaci dokončit.

```

PRT(1) : 403.000000
PRT(2) : 410.000000
PRT(3) : 401.000000
PRT(4) : 404.000000
BLACKBODY(3) : 613.000000
BLACKBODY(4) : 320.000000
BLACKBODY(5) : 317.000000
SPACE(3) : 993.000000
SPACE(4) : 993.000000
SPACE(5) : 999.000000
AVALUES(1) : 277.018 0.05128 0.0 0.0 0.0
AVALUES(2) : 276.750 0.05128 0.0 0.0 0.0
AVALUES(3) : 276.862 0.05128 0.0 0.0 0.0
AVALUES(4) : 276.546 0.05128 0.0 0.0 0.0

```